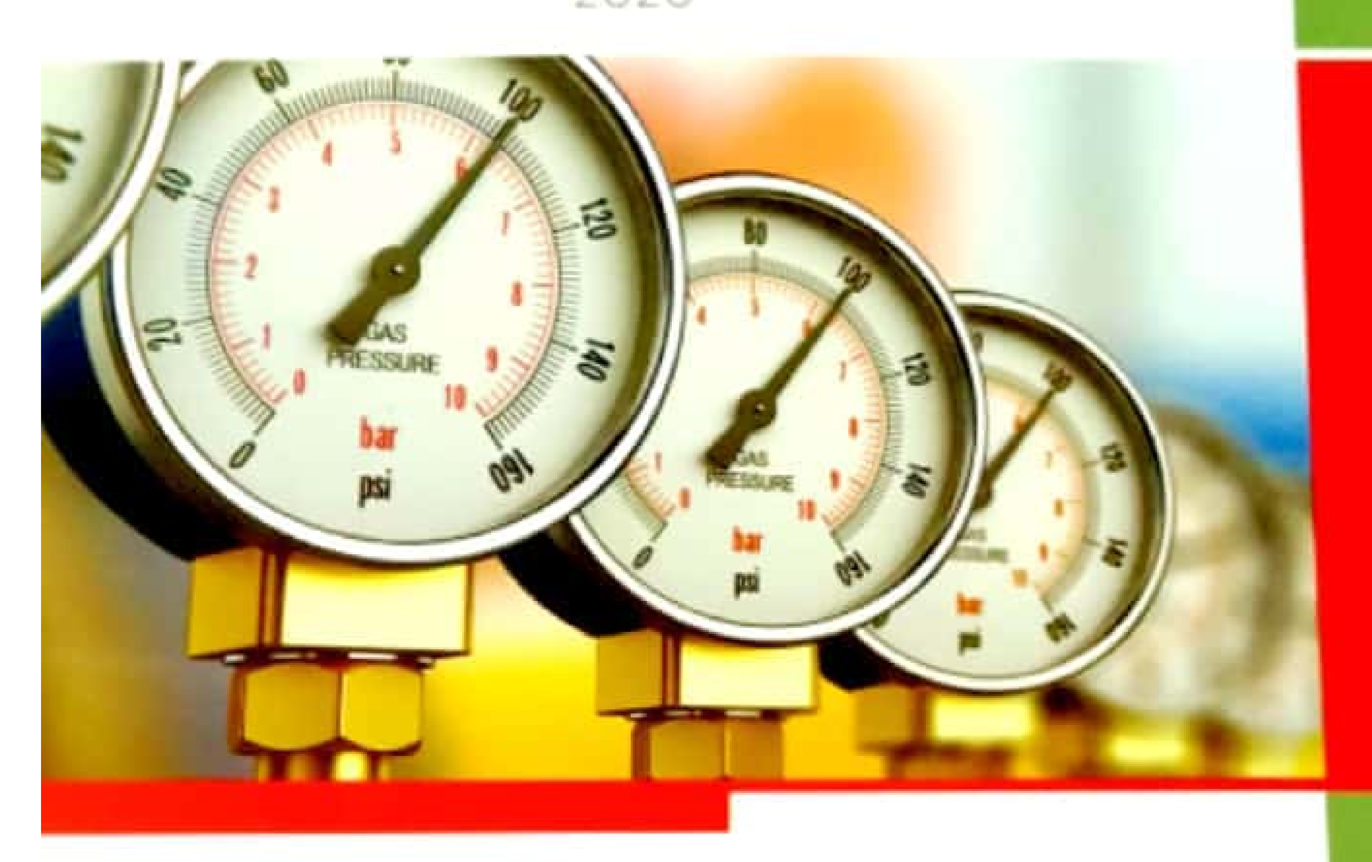
Mohamed Taher (๑˙❥˙๑)

الامتحان

2020

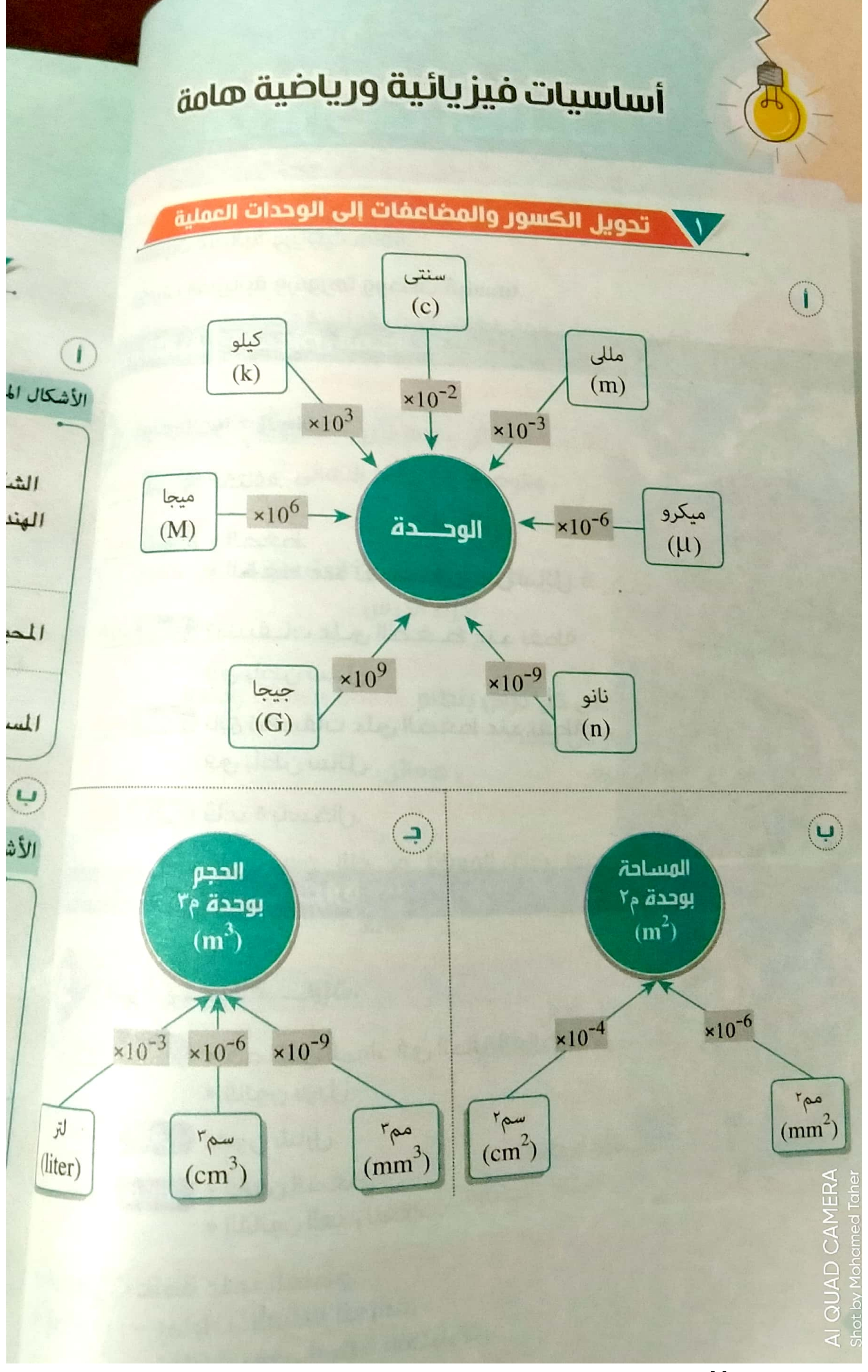


الفيزياء





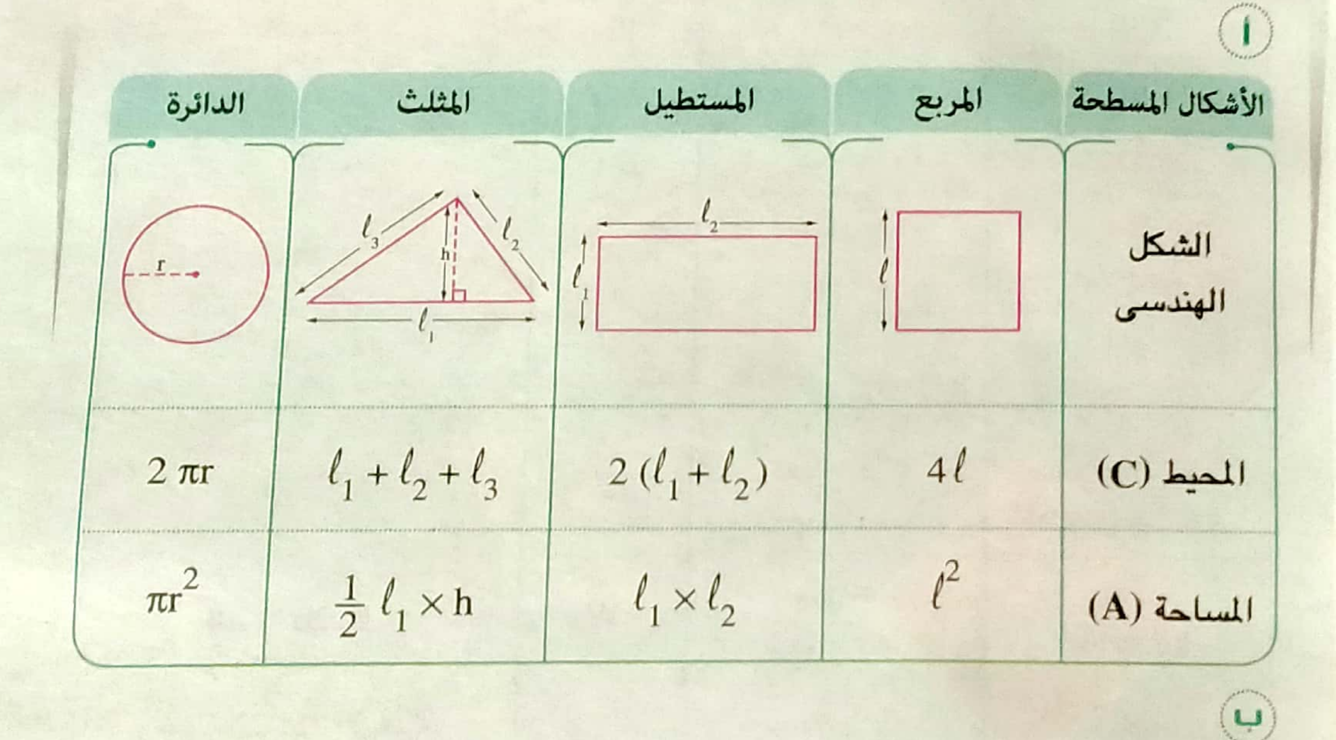
محتويات الكتاب



أساسيات فيزيائية ورياضية هامة
١ تحويل الكسور والمضاعفات إلى الوحدات العملية
أ
سنتى (c)
$\times 10^{-2}$
كيلو (k)
$\times 10^{3}$
مللى (m)
$\times 10^{-3}$
ميجا (M)
$\times 10^{6}$
الوحــدة
$\times 10^{-6}$
ميكرو (μ)
جيجا (G)
$\times 10^{9}$
نانو (n)
$\times 10^{-9}$
ب
المساحة بوحدة م٢ (m^2)
$\times 10^{-4}$
سم٢ (cm^2)
$\times 10^{-6}$
مم٢ (mm^2)
جـ
الحجم بوحدة م٣ (m^3)
$\times 10^{-3}$
لتر (liter)
$\times 10^{-6}$
سم٣ (cm^3)
$\times 10^{-9}$
مم٣ (mm^3)
AI QUAD CAMERA
Shot by Mohamed Taher

٢ محيطات ومساحات وحجوم بعض الأشكال الهندسية

أ



الأشكال المسطحة	المربع	المستطيل	المثلث	الدائرة
الشكل الهندسى				
المحيط (C)	4ℓ	$2(\ell_1+\ell_2)$	$\ell_1+\ell_2+\ell_3$	$2\pi r$
المساحة (A)	ℓ^2	$\ell_1\times\ell_2$	$\frac{1}{2}\ell_1\times h$	πr^2

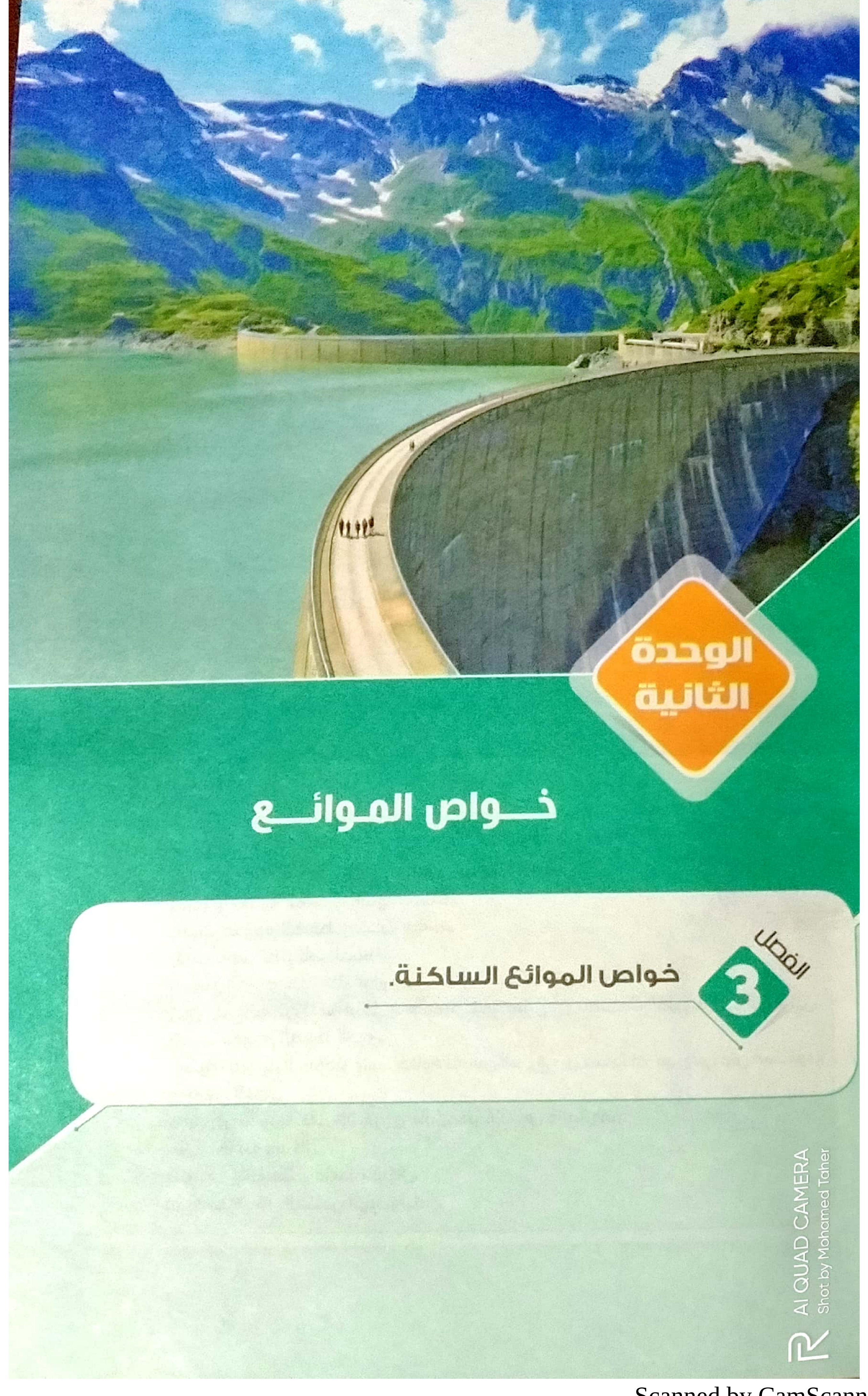
ب

الأشكال المجسمة	المكعب	متوازى المستطيلات	الكرة	الأسطوانة
الشكل الهندسى				
الحجم (V)	ℓ^3	$\ell_1\times\ell_2\times\ell_3$	$\frac{4}{3}\pi r^3$	$\pi r^2\times h$

الكميــات الفيــزيائية

الواردة بالمنهج ورموزها ووحدات قياسها

الكمية الفيزيائية	الرمز	وحدة القياس، وبعض الوحدات المكافئة	
الكتلة	m	كجم	kg
الحجم	V_{ol}	م٣	m^3
الكثافة	ρ «رو»	كجم/م٣	kg/m^3
القوة	F	نيوتن = كجم.م/ث٢	$N = kg.m/s^2$
المساحة	A	م٢	m^2
الضغط	P	نيوتن/ م٢ = كجم/م.ث٢ = چول/م٣ = باسكال	$N/m^2 = kg/m.s^2 = J/m^3 =$ pascal
الطاقة (الشغل)	W	چول = كجم.م٢/ث٢	$J = kg.m^2/s^2$
عجلة الجاذبية الأرضية	g	م/ث٢	m/s^2
عمق النقطة عن السطح	h	م	m
الضغط الجوى	P_a	ضغط جوى	atm
الفائدة الآلية	η «إيتا»	—	—
حجم الغاز	V_{ol}	م٣	m^3
درجة الحرارة الكلفينية	T	درجة كلفينية	K
درجة الحرارة السيلزية	t	درجة سيلزية	°C
معامل التمدد الحجمى لغاز	α_v	كلفن⁻¹	K^{-1}
معامل زيادة الضغط لغاز	β_P «بيتا»	كلفن⁻¹	K^{-1}


الوحدة
الثانية
خواص الموائع
الفصل
3
خواص الموائع الساكنة.

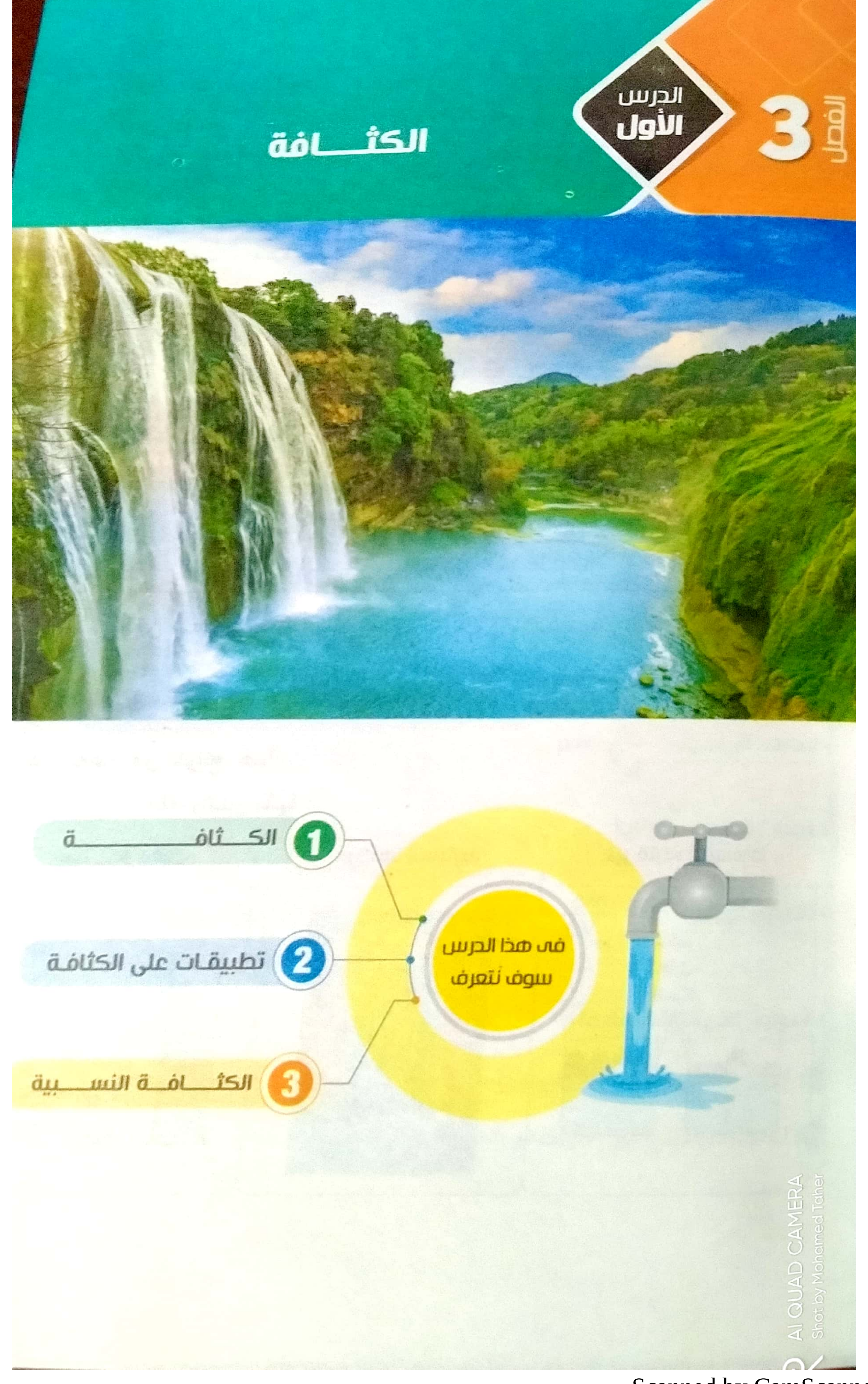
الفصل 3

خواص الموائع الساكنة

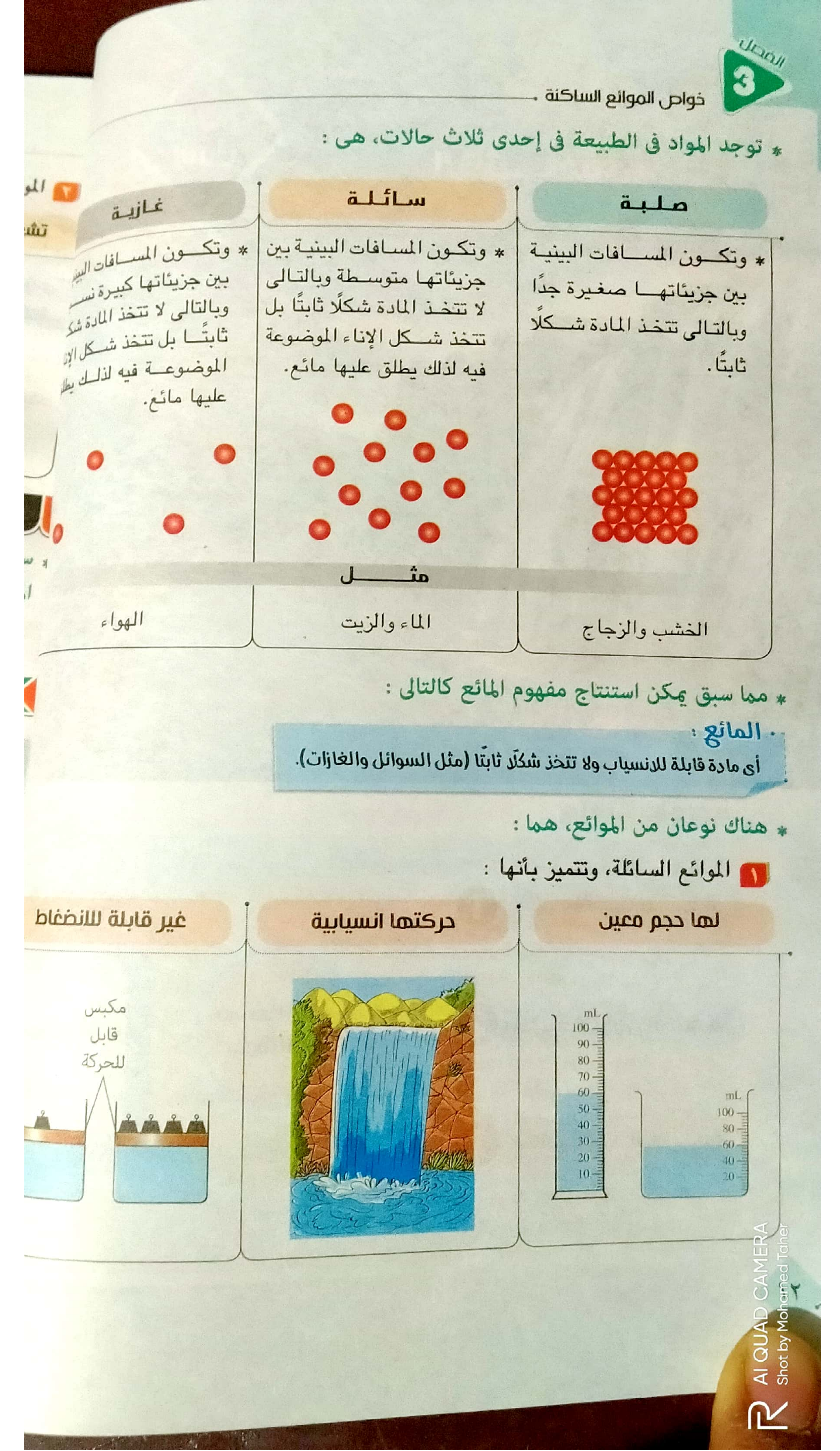
مخرجات التعلم

★ فى نهاية هذا الفصل ينبغى أن يكون الطالب قادرًا على أن :

- يميز بين حالات المادة الثلاث : صلبة – سائلة – غازية.
- يفرق بين كثافة المادة وكثافتها النسبية.
- يتعرف مفهوم الضغط ووحدات قياسه.
- يفسر بعض تطبيقات الضغط.
- يستنتج الضغط عند نقطة فى باطن سائل ساكن متجانس.
- يجرى تجربة لتعيين كثافة سائل بمعلومية كثافة سائل آخر باستخدام الأنبو
- يتعرف مفهوم الضغط الجوى.
- يتعرف تركيب المانومتر واستخدامه لقياس الفرق بين ضغط غاز محبو
والضغط الجوى.
- يقارن بين الأنبوبة ذات الشـ



الفصل 3
الدرس الأول
الكثـــافة
في هذا الدرس سوف نتعرف
1 الكثـــافـــــة
2 تطبيقات على الكثافة
3 الكثـــافـة النســبية



* توجد المواد فى الطبيعة فى إحدى ثلاث حالات، هى :

صلبة	سائلة	غازية
* وتكـون المسافات البينية بين جزيئاتها صغيرة جدًا وبالتالى تتخذ المادة شكلًا ثابتًا.	* وتكون المسافات البينية بين جزيئاتها متوسطة وبالتالى لا تتخذ المادة شكلًا ثابتًا بل تتخذ شكل الإناء الموضوعة فيه لذلك يطلق عليها مائع.	* وتكـون المسافات البينية بين جزيئاتها كبيرة نسبيًا وبالتالى لا تتخذ المادة شكلًا ثابتًا بل تتخذ شكل الإناء الموضوعة فيه لذلك يطلق عليها مائع.
مثل		
الخشب والزجاج	الماء والزيت	الهواء

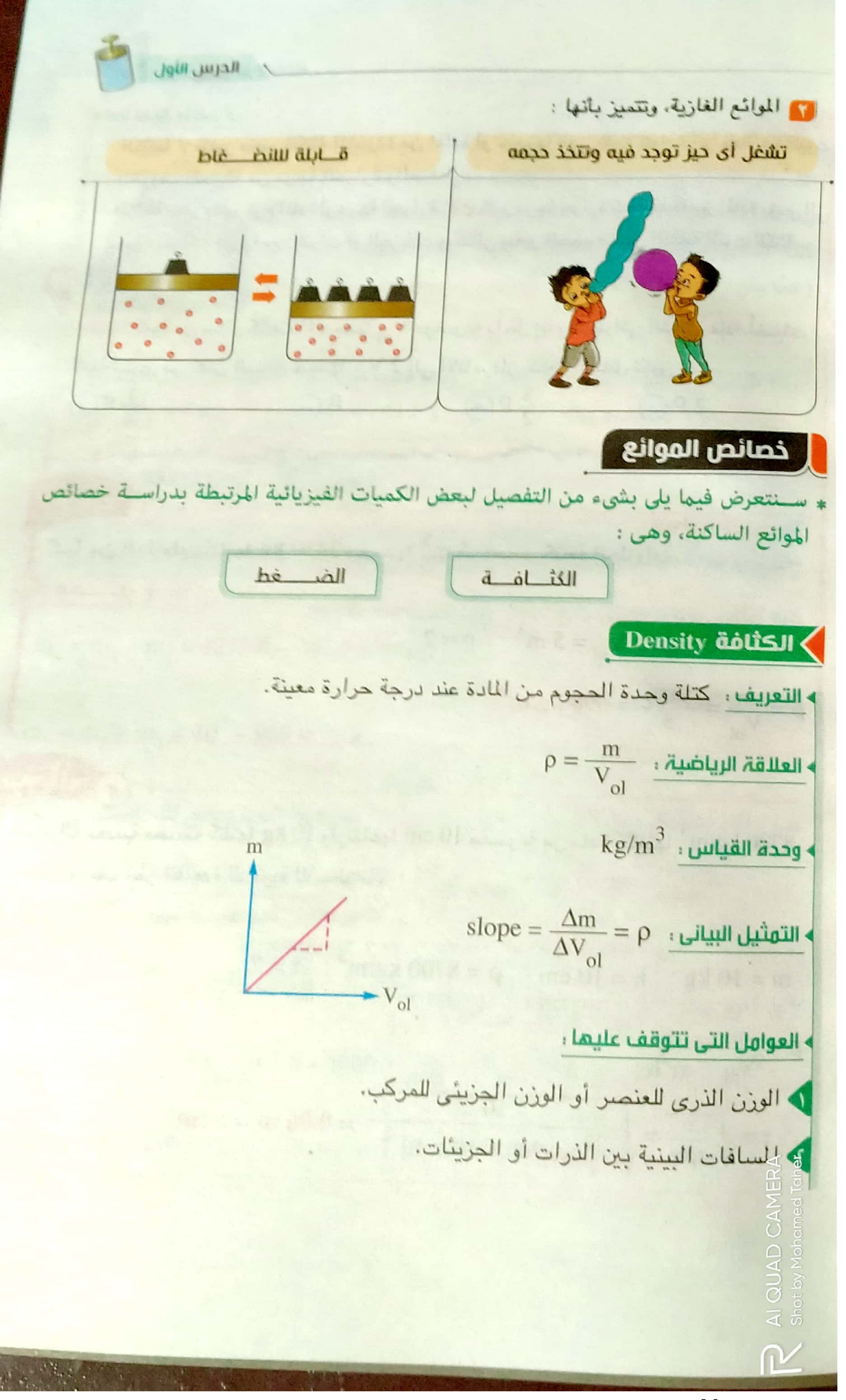
* مما سبق يمكن استنتاج مفهوم المائع كالتالى :

• المائع :
أى مادة قابلة للانسياب ولا تتخذ شكلًا ثابتًا (مثل السوائل والغازات).

* هناك نوعان من الموائع، هما :

١ الموائع السائلة، وتتميز بأنها :

لها حجم معين	حركتها انسيابية	غير قابلة للانضغاط



٢ الموائع الغازية، وتتميز بأنها :

تشغل أى حيز توجد فيه وتتخذ حجمه	قــابلة للانضـــغاط

خصائص الموائع

* ســنتعرض فيما يلى بشىء من التفصيل لبعض الكميات الفيزيائية المرتبطة بدراســة خصائص الموائع الساكنة، وهى :

الكثــافــة	الضـــغط

الكثافة Density

◂ **التعريف :** كتلة وحدة الحجوم من المادة عند درجة حرارة معينة.

◂ **العلاقة الرياضية :** $\rho = \frac{m}{V_{ol}}$

◂ **وحدة القياس :** kg/m^3

◂ **التمثيل البيانى :** $slope = \frac{\Delta m}{\Delta V_{ol}} = \rho$

◂ **العوامل التى تتوقف عليها :**

١ الوزن الذرى للعنصر أو الوزن الجزيئى للمركب.

٢ المسافات البينية بين الذرات أو الجزيئات.

مما سبق يتضح أن :

– **الكثافة لا تتغير بتغير الكتلة المأخوذة من المادة أو حجمها** فهى ثابتة للمادة الواحدة عند الظروف المحيطة من درجة الحرارة والضغط.

– **الكثافة تتغير بتغير نوع المادة أو درجة الحرارة،** لأن تغير درجة حرارة كمية معينة من المادة يؤدى إلى تغير المسافات البينية بين الذرات أو الجزيئات وبالتالى يتغير الحجم فتتغير الكثافة لثبوت الكتلة.

اختبر نفسك

اختر : كمية من سائل كثافته ρ حجمها V_{ol} موضوعة داخل إناء أسطوانى الشكل، فإذا أضيف كمية أخرى من نفس السائل حجمها $2\ V_{ol}$ إلى الإناء، فإن كثافة السائل تكون ....

(أ) $\frac{1}{2}\rho$ (ب) ρ (جـ) $\frac{3}{2}\rho$ (د) 2ρ

مثال ١

كمية من الجازولين كتلتها 3450 kg وحجمها $5\ m^3$، احسب كثافة الجازولين.

الحل

$m = 3450\ kg$	$V_{ol} = 5\ m^3$	$\rho = ?$

$$\rho = \frac{m}{V_{ol}} = \frac{3450}{5} = 690\ kg/m^3$$



مثال ٢

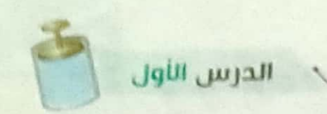
أسطوانة معدنية مصمتة كتلتها 10 kg وارتفاعها 10 cm مصنوعة من مادة كثافتها $8700\ kg/m^3$ احسب نصف قطر القاعدة الدائرية للأسطوانة.

الحل

$m = 10\ kg$	$h = 10\ cm$	$\rho = 8700\ kg/m^3$	$r = ?$

$$\rho = \frac{m}{V_{ol}} = \frac{m}{\pi r^2 h}$$

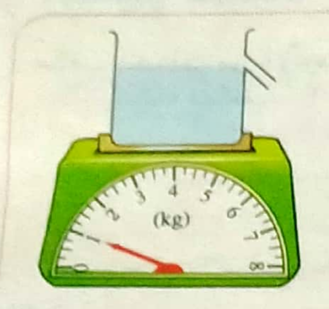
$$\therefore r = \sqrt{\frac{m}{\pi \rho h}} = \sqrt{\frac{10}{\frac{22}{7} \times 8700 \times 10 \times 10^{-2}}} = 0.06\ m = 6\ cm$$



مثال ٣

الشكل المقابل يوضح كأس إزاحة كتلته وهو مملوء بالماء 1 kg وعند وضع قطعة من الحديد كتلتها 241.8 g بداخله أصبحت كتلة الكأس وما يحتويه 1210.8 g، احسب كثافة الحديد.

(علمًا بأن : $\rho_{(ماء)} = 1000\ kg/m^3$)



الحل

(كتلة كل من الكأس وقطعة الحديد والماء المتبقى)	(كتلة قطعة الحديد)	(كتلة الكأس والماء معًا)
$m_3 = 1210.8\ g$	$m_2 = 241.8\ g$	$m_1 = 1\ kg$

$\rho_{(حديد)} = ?$ ، $\rho_{(ماء)} = 1000\ kg/m^3$

وسيلة مساعدة

عند وضع قطعة حديد داخل كأس مملوء بالماء فإنها تزيح كمية من الماء حجمها مساوى لحجم قطعة الحديد.

كتلة الكأس والماء المتبقى داخله فقط بعد وضع قطعة الحديد :

$$m_4 = m_3 - m_2 = 1210.8 - 241.8 = 969\ g$$

كتلة الماء المنسكب من الكأس :

$$m_5 = m_1 - m_4 = 10^3 - 969 = 31\ g$$

حجم الماء المنسكب من الكأس :

$$(V_{ol})_{منسكب} = \frac{m_5}{\rho_{(ماء)}} = \frac{31 \times 10^{-3}}{1000}$$

$$= 3.1 \times 10^{-5}\ m^3$$

$$\because (V_{ol})_{حديد} = (V_{ol})_{منسكب} = 3.1 \times 10^{-5}\ m^3$$

$$\therefore \rho_{(حديد)} = \frac{m_2}{(V_{ol})_{حديد}} = \frac{241.8 \times 10^{-3}}{3.1 \times 10^{-5}}$$

$$= 7800\ kg/m^3$$

حل آخر

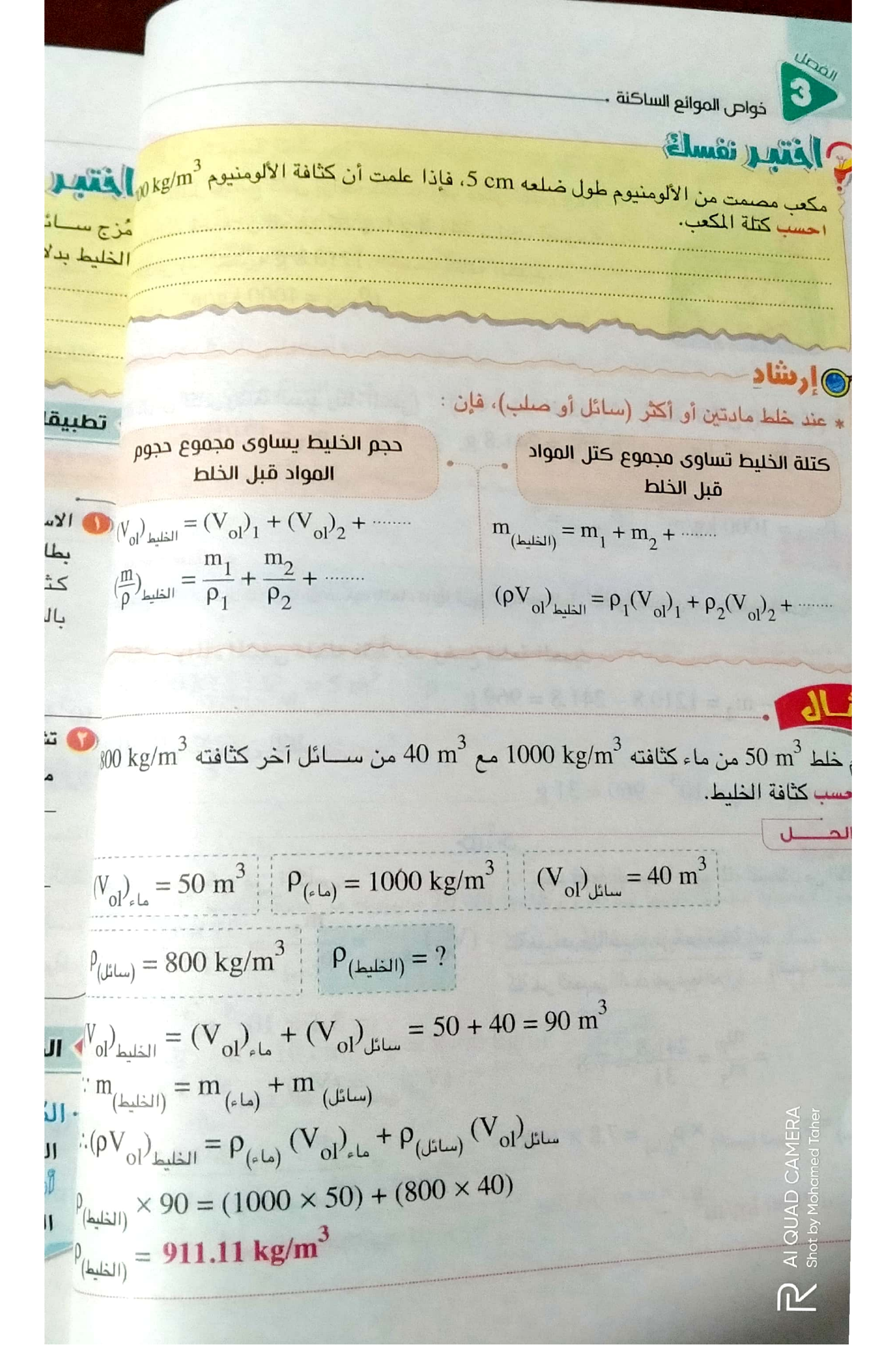
∵ حجم قطعة الحديد = حجم الماء المنسكب من الكأس

$$\rho_{(النسبية للحديد)} = \frac{\text{كتلة حجم معين من الحديد عند درجة حرارة معينة}}{\text{كتلة نفس الحجم من الماء عند نفس درجة الحرارة}}$$

$$= \frac{m_2}{m_5} = \frac{241.8}{31} = 7.8$$

$$\rho_{(حديد)} = \rho_{(النسبية للحديد)} \times \rho_{(ماء)} = 7.8 \times 1000$$

$$= 7800\ kg/m^3$$



اختبر نفسك

مكعب مصمت من الألومنيوم طول ضلعه 5 cm، فإذا علمت أن كثافة الألومنيوم ...00 kg/m^3
احسب كتلة المكعب.

....

إرشاد

* عند خلط مادتين أو أكثر (سائل أو صلب)، فإن :

كتلة الخليط تساوى مجموع كتل المواد قبل الخلط	حجم الخليط يساوى مجموع حجوم المواد قبل الخلط
$m_{(الخليط)} = m_1 + m_2 + \cdots$	$(V_{ol})_{الخليط} = (V_{ol})_1 + (V_{ol})_2 + \cdots$
$(\rho V_{ol})_{الخليط} = \rho_1 (V_{ol})_1 + \rho_2 (V_{ol})_2 + \cdots$	$\left(\frac{m}{\rho}\right)_{الخليط} = \frac{m_1}{\rho_1} + \frac{m_2}{\rho_2} + \cdots$

مثال

خلط 50 m^3 من ماء كثافته 1000 kg/m^3 مع 40 m^3 من سائل آخر كثافته 800 kg/m^3
احسب كثافة الخليط.

الحل

$(V_{ol})_{ماء} = 50\ m^3$ | $\rho_{(ماء)} = 1000\ kg/m^3$ | $(V_{ol})_{سائل} = 40\ m^3$

$\rho_{(سائل)} = 800\ kg/m^3$ | $\rho_{(الخليط)} = ?$

$$(V_{ol})_{الخليط} = (V_{ol})_{ماء} + (V_{ol})_{سائل} = 50 + 40 = 90\ m^3$$

$$\because m_{(الخليط)} = m_{(ماء)} + m_{(سائل)}$$

$$\therefore (\rho V_{ol})_{الخليط} = \rho_{(ماء)} (V_{ol})_{ماء} + \rho_{(سائل)} (V_{ol})_{سائل}$$

$$\rho_{(الخليط)} \times 90 = (1000 \times 50) + (800 \times 40)$$

$$\rho_{(الخليط)} = 911.11\ kg/m^3$$

اختبر نفسك

مُزج سـائل كثافته ρ وحجمه V_{ol} مع سـائل آخر كثافته 2ρ وحجمه $2V_{ol}$، احسب كثافة الخليط بدلالة ρ علمًا بأن حجم الخليط مساوى لمجموع حجمى السائلين قبل الخلط.

....

....

....

تطبيقات على الكثافة

التطبيق	الشـــرح
① الاستدلال على مدى شحن بطاريـة السـيارة بقياس كثافة المحلول الإلكتروليتى بالبطارية.	* عند تفريغ الشحنة الكهربية من بطارية السيارة تقل كثافة المحلول الإلكتروليتى (حمض الكبريتيك المخفف) نتيجة استهلاكه فى تفاعله مع ألواح الرصاص وتكوين كبريتات الرصاص. * عند إعادة شـحن البطارية تتحرر أيونـات الكبريتات من ألواح الرصاص وتعـود للمحلول مرة أخرى فتـزداد كثافة المحلول الإلكتروليتى وتعود لقيمتها الأصلية.
② تشخيص بعض الأمراض، مثل : – الأنيميـا بقياس كثـافة الدم. – زيـادة تركيـز الأمـلاح فى البـول بقياس كثافة البول.	* فى الحالـة الطبيعية تتراوح كثافة الـدم ما بين $1040\ kg/m^3$ و $1060\ kg/m^3$ فـإذا قلـت كثافة الدم عـن $1040\ kg/m^3$ دل ذلك على نقص تركيز كرات الدم الحمراء وهذا يشير إلى مرض الأنيميا (فقر الدم). * الكثافة المعتادة للبول هى $1020\ kg/m^3$ وبعض الأمراض تؤدى إلى زيادة نسبة الأملاح فى البول مما يؤدى إلى زيادة كثافة البول عن الحالة الطبيعية.

الكثافة النسبية

الكثافة النسبية لمادة :

النسبة بين كثافة المادة وكثافة الماء عند نفس درجة الحرارة.

أو

النسبة بين كتلة حجم معين من المادة وكتلة نفس الحجم من الماء عند نفس درجة الحرارة.

* يمكن تعيين الكثافة النسبية لأى مادة من العلاقة :

$$\text{الكثافة النسبية لمادة} = \frac{\text{كثافة المادة عند درجة حرارة معينة}}{\text{كثافة الماء عند نفس درجة الحرارة}}$$

$$= \frac{\text{كتلة حجم معين من المادة عند درجة حرارة معينة}}{\text{كتلة نفس الحجم من الماء عند نفس درجة الحرارة}}$$

* الكثافة النسبية ليس لها وحدات قياس، **لأنها** نسبة بين كميتين من نفس النوع.

* يمكن تعيين كثافة المادة بمعلومية الكثافة النسبية لها من العلاقة :

$$\rho = \rho_{(\text{النسبية})} \times \rho_{(\text{ماء})} = \rho_{(\text{النسبية})} \times 1000$$

حيث : $\rho_{(\text{ماء})}$ تساوى $1000\ kg/m^3$

مثال ١

إذا كانت كثافة الألومنيوم وكثافة الماء عند نفس درجة الحرارة $2700\ kg/m^3$ ، kg/m^3 على الترتيب، **احسب :**

(١) الكثافة النسبية للألومنيوم.

(٢) كتلة قطعة من الألومنيوم حجمها $0.1\ m^3$

الحل

$(\rho_{Al})_{\text{النسبية}} = ?$ | $(V_{ol})_{Al} = 0.1\ m^3$ | $\rho_w = 10^3\ kg/m^3$ | $\rho_{Al} = 2700\ kg/m^3$ | $m_{Al} = ?$

(١) $(\rho_{Al})_{\text{النسبية}} = \frac{\rho_{Al}}{\rho_w} = \frac{2700}{10^3} = 2.7$

(٢) $m_{Al} = \rho_{Al} (V_{ol})_{Al} = 2700 \times 0.1 = 270\ kg$

مثال ٢

مُلئ إناء بـ 50 g من سائل ما فكانت كتلته وهو مملوء بالسائل 80 g، وعند تفريغ الإناء وإعادة ملئه بماء مقطر كانت كتلته 60 g، **احسب** كثافة السائل. (علمًا بأن : $\rho_w = 1000\ kg/m^3$)

الحل

كتلة الإناء مملوء بالماء = 60 g	كتلة الإناء مملوء بالسائل = 80 g	كتلة السائل = 50 g
	$\rho_{(سائل)} = ?$	$\rho_w = 1000\ kg/m^3$

كتلة الإناء فارغًا = كتلة الإناء مملوء بالسائل – كتلة السائل

$$m_{(إناء)} = 80 - 50 = 30\ g$$

كتلة الماء = كتلة الإناء مملوء بالماء – كتلة الإناء فارغًا

$$m_{(ماء)} = 60 - 30 = 30\ g$$

$$\rho_{(النسبية للسائل)} = \frac{\text{كتلة حجم معين من السائل}}{\text{كتلة نفس الحجم من الماء}} = \frac{50}{30} = 1.667$$

$$\rho_{(سائل)} = \rho_{(النسبية للسائل)} \times \rho_w = 1.667 \times 1000 = \mathbf{1667\ kg/m^3}$$

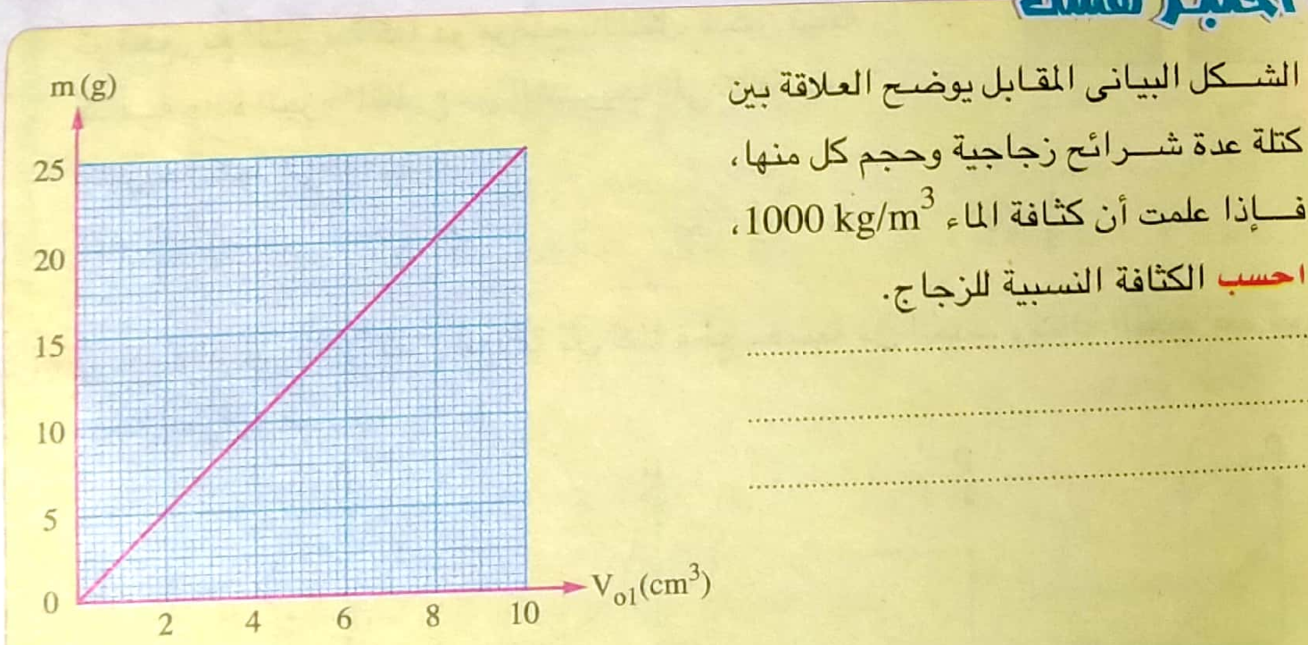
اختبر نفسك

الشكل البيانى المقابل يوضح العلاقة بين كتلة عدة شرائح زجاجية وحجم كل منها، فإذا علمت أن كثافة الماء $1000\ kg/m^3$، **احسب** الكثافة النسبية للزجاج.

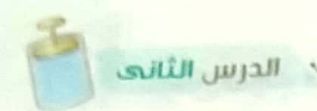
....

....

....




الفصل 3
الدرس الثانى
• الضغط
• الضغط عند نقطة فى باطن
الضغـــط
العوامل التى يتوقف عليها الضغط
تطبيقـــات عـــلى
ضغـــط سائل عند نقطــ
استنتاج قيمة ضغط سائل عند نقطة
العوامل التى يتوقف عليها
عند نقطة فى باطن
الضغط الكلى عند نقطة فى
فى هذا الدرس سوف نتعرف



الضغط Pressure

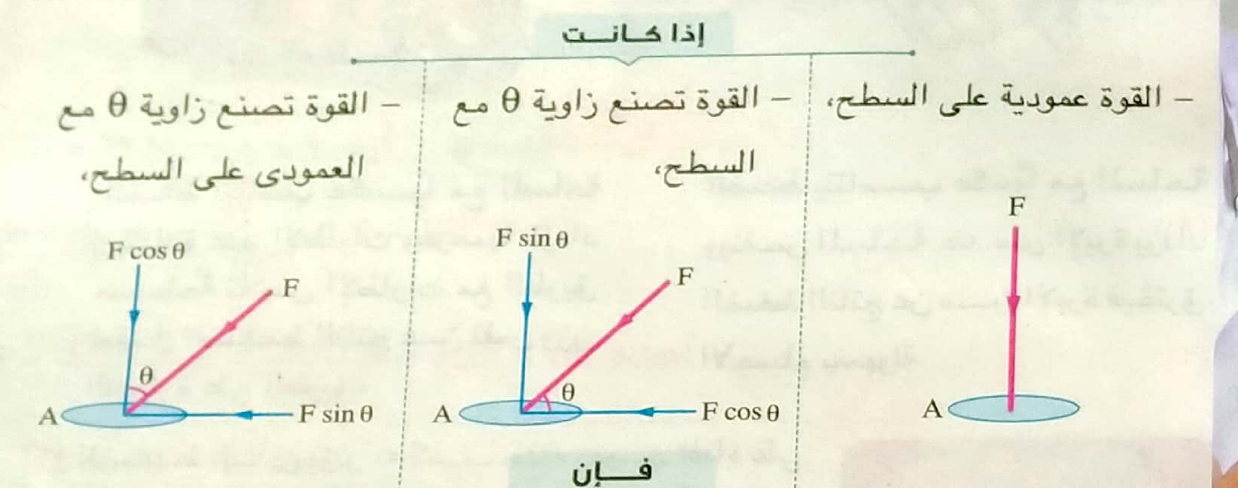
إذا أثرت قوة F على سـطح مساحته A ينتج ضغط P على هذه المساحة.

الضغط عند نقطة :
مقدار القوة المتوسطة المؤثرة عموديًا على وحدة المساحات المحيطة بتلك النقطة.

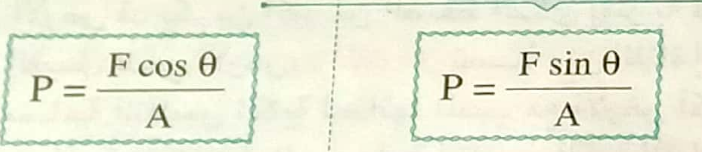
يمكن تعيين الضغط كالآتى :

إذا كانت

- القوة عمودية على السطح،
- القوة تصنع زاوية θ مع السطح،
- القوة تصنع زاوية θ مع العمودى على السطح،



فإن



$$P = \frac{F}{A}$$

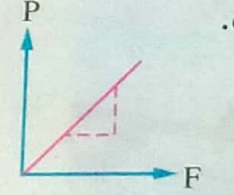
$$P = \frac{F \sin \theta}{A}$$

$$P = \frac{F \cos \theta}{A}$$

يقاس الضغط بوحدة N/m^2 (باسكال "pascal" أو "Pa") وتكافئ $kg/m.s^2$ أو J/m^3

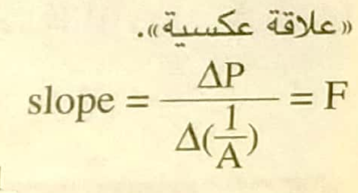
العوامل التى يتوقف عليها الضغط عند نقطة

١ القوة المتوسطة المؤثرة عموديًا «علاقة طردية».

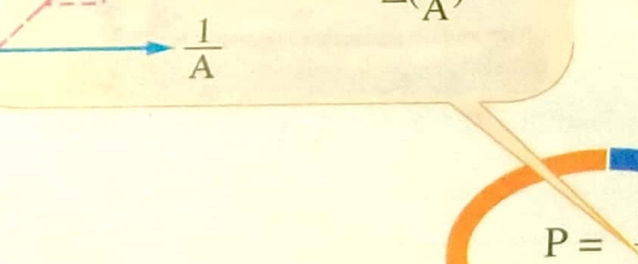


$$slope = \frac{\Delta P}{\Delta F} = \frac{1}{A}$$

٢ المساحة المحيطة بتلك النقطة «علاقة عكسية».



$$slope = \frac{\Delta P}{\Delta(\frac{1}{A})} = F$$



ملاحظات

(١) تستخدم إطارات عريضة وأكثر عددًا فى سيارات النقل الثقيل،



لأن

الضغط يتناسب عكسيًا مع المساحة
وبزيادة عدد الإطارات وعرضها تزداد مساحة تلامس الإطارات مع الطريق فيقل الضغط الناتج عن نفس وزن السيارة على الطريق.

(٢) يكون لإبر الخياطة والدبابيس أس... مدببة،

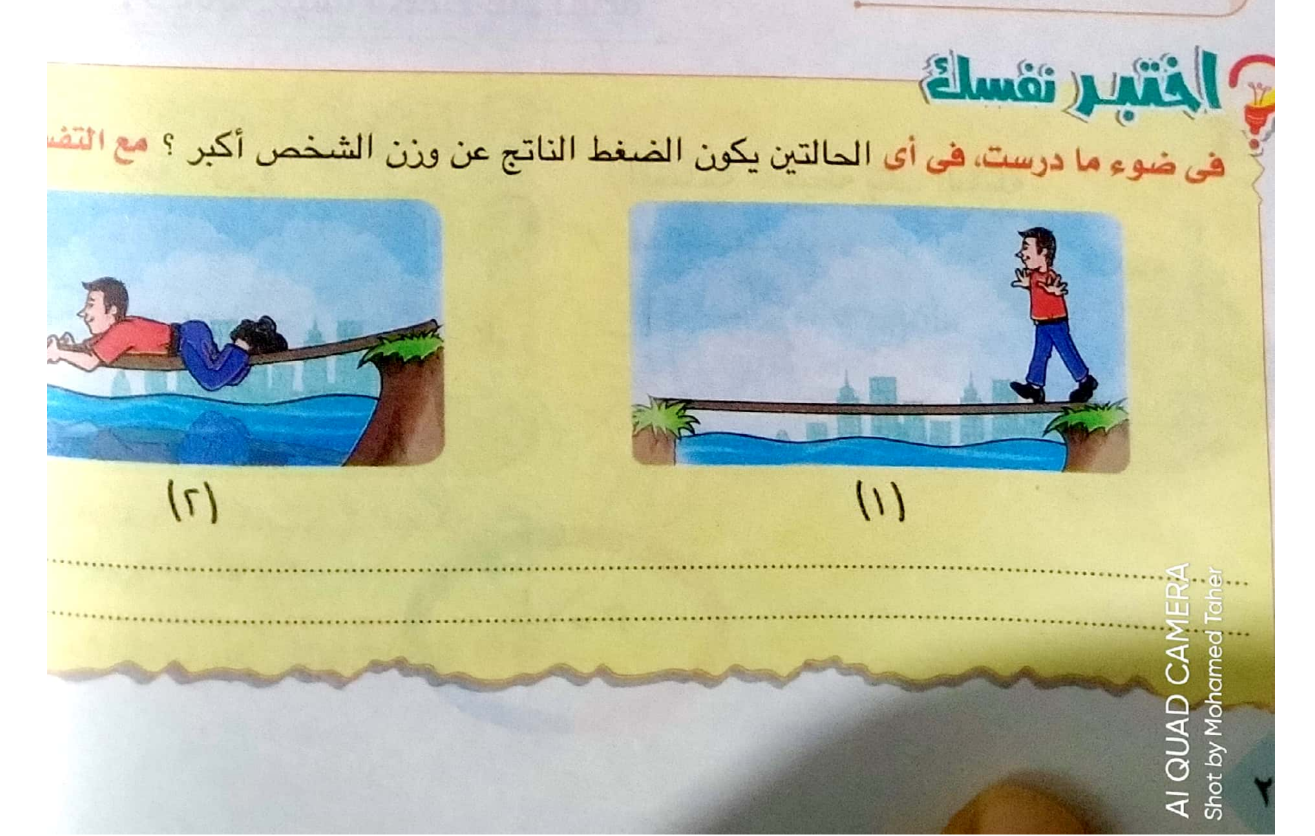
الضغط يتناسب عكسيًا مع الم...
وبنقص المساحة عند سن الإبرة ... الضغط الناتج عن سن الإبرة ف... الأجسام بسهولة.

(٣) الضغط الذى يؤثر به كعب حذاء مدبب لفتاة على الأرض قد يكون أكبر من الضغط الذى يؤثر به قدم الفيل على الأرض، **وذلك لأن** نسبة وزن الفتاة إلى مساحة التلامس الكلية لحذائها المدبب مع الأرض أكبر من نسبة وزن الفيل إلى مساحة التلامس الكلية لأقدامه الأربعة مع الأرض، فينتج عن وزن الفتاة ضغط أكبر من الضغط الناتج عن وزن الفيل.



اختبر نفسك

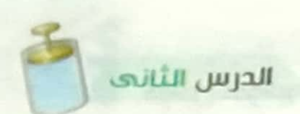
فى ضوء ما درست، فى أى الحالتين يكون الضغط الناتج عن وزن الشخص أكبر ؟ **مع التفس...**



(١) (٢)

....

....





مثال ١

إذا أثرت قوة 25 N على سطح مساحته $5\ cm^2$، **احسب الضغط المؤثر على السطح إذا كانت القوة :**

(١) عمودية على السطح. (٢) تصنع زاوية 60° مع السطح.

(٣) تصنع زاوية 60° مع العمودى على السطح.

الحل

$F = 25\ N$ | $A = 5\ cm^2$ | $P = ?$

(١) $P = \frac{F}{A} = \frac{25}{5 \times 10^{-4}} = 5 \times 10^4\ N/m^2$

(٢) $P = \frac{F \sin\theta}{A} = \frac{25 \sin 60}{5 \times 10^{-4}} = 4.33 \times 10^4\ N/m^2$

(٣) $P = \frac{F \cos\theta}{A} = \frac{25 \cos 60}{5 \times 10^{-4}} = 2.5 \times 10^4\ N/m^2$

مثال ٢

متوازى مستطيلات أبعاده 20 cm ، 10 cm ، 5 cm كثافة مادته $5000\ kg/m^3$ وضع على سطح مستوى أفقى، **احسب** أقصى وأقل ضغط للمتوازى على السطح.

(علمًا بأن : عجلة الجاذبية الأرضية = $10\ m/s^2$)

الحل

$\ell_1 = 5\ cm$ | $\ell_2 = 10\ cm$ | $\ell_3 = 20\ cm$ | $\rho = 5000\ kg/m^3$ | $g = 10\ m/s^2$

$P_{max} = ?$ | $P_{min} = ?$

وسيلة مساعدة

يختلف الضغط الذى يؤثر به وزن متوازى المستطيلات على السطح باختلاف مساحة وجه المتوازى الملامس السطح حيث ($P \propto \frac{1}{A}$).

$$P = \frac{F}{A} = \frac{mg}{A} = \frac{\rho V_{ol}\, g}{A}$$

* لحساب **أقصى ضغط** لمتوازى المستطيلات

يوضع على الوجه ذى **المساحة الأقل** : (5 cm ، 10 cm)

$$P_{max} = \frac{5000 \times 5 \times 10 \times 20 \times 10^{-6} \times 10}{5 \times 10 \times 10^{-4}}$$

$$= 10^4\ N/m^2$$

* لحساب **أقل ضغط** لمتوازى المستطيلات

يوضع على الوجه ذى **المساحة الأكبر** : (10 cm ، 20 cm)

$$P_{min} = \frac{5000 \times 5 \times 10 \times 20 \times 10^{-6} \times 10}{10 \times 20 \times 10^{-4}}$$

$$= 0.25 \times 10^4\ N/m^2$$

حل آخر

$$P = \frac{F}{A} = \frac{mg}{A} = \frac{\rho V_{ol}\, g}{A} = \frac{\rho\, Ahg}{A} = \rho hg$$

* لحساب **أقصى ضغط** لمتوازى المستطيلات

يوضع بحيث يكون **بعده الأكبر يمثل ارتفاعه** : (20 cm)

$$P_{max} = 5000 \times 20 \times 10^{-2} \times 10$$

$$= 10^4\ N/m^2$$

* لحساب **أقل ضغط** لمتوازى المستطيلات

يوضع بحيث يكون **بعده الأقل يمثل ارتفاعه** : (5 cm)

$$P_{min} = 5000 \times 5 \times 10^{-2} \times 10$$

$$= 0.25 \times 10^4\ N/m^2$$

مثال ٣

سيارة كتلتها 1200 kg ومساحة سطح تلامس كل إطار من إطاراتها الأربعة مع الأرض $80\ cm^2$

احسب الضغط الذى تؤثر به السيارة على الأرض. $(g = 9.8\ m/s^2)$

الحل

$m = 1200\ kg$	$A_{(\text{إطار})} = 80\ cm^2$	$g = 9.8\ m/s^2$	$P = ?$

وسيلة مساعدة

ترتكز السيارة على أربعة إطارات متماثلة فيتوزع وزنها بالتساوى على الإطارات الأربعة.

$$P = \frac{F}{A} = \frac{mg}{4A_{(\text{إطار})}} = \frac{1200 \times 9.8}{4 \times 80 \times 10^{-4}} = 3.675 \times 10^5\ Pa$$

اختبر نفسك

اختر : شـخص وزنه W يقف بكلتا قدميه على الأرض، فإذا كانت مسـاحة تلامس كل قدم مع الأرض A، فإنه يؤثر على الأرض بضغط يساوى ....

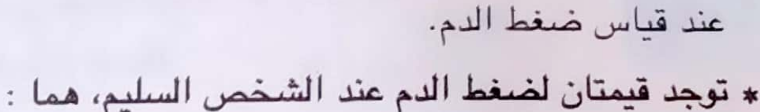
(أ) $\frac{2\,W}{A}$ (ب) $\frac{W}{A}$

(جـ) $\frac{W}{2\,A}$ (د) $\frac{W}{4\,A}$

تطبيقات على الضغط

١ قياس ضغط الدم :

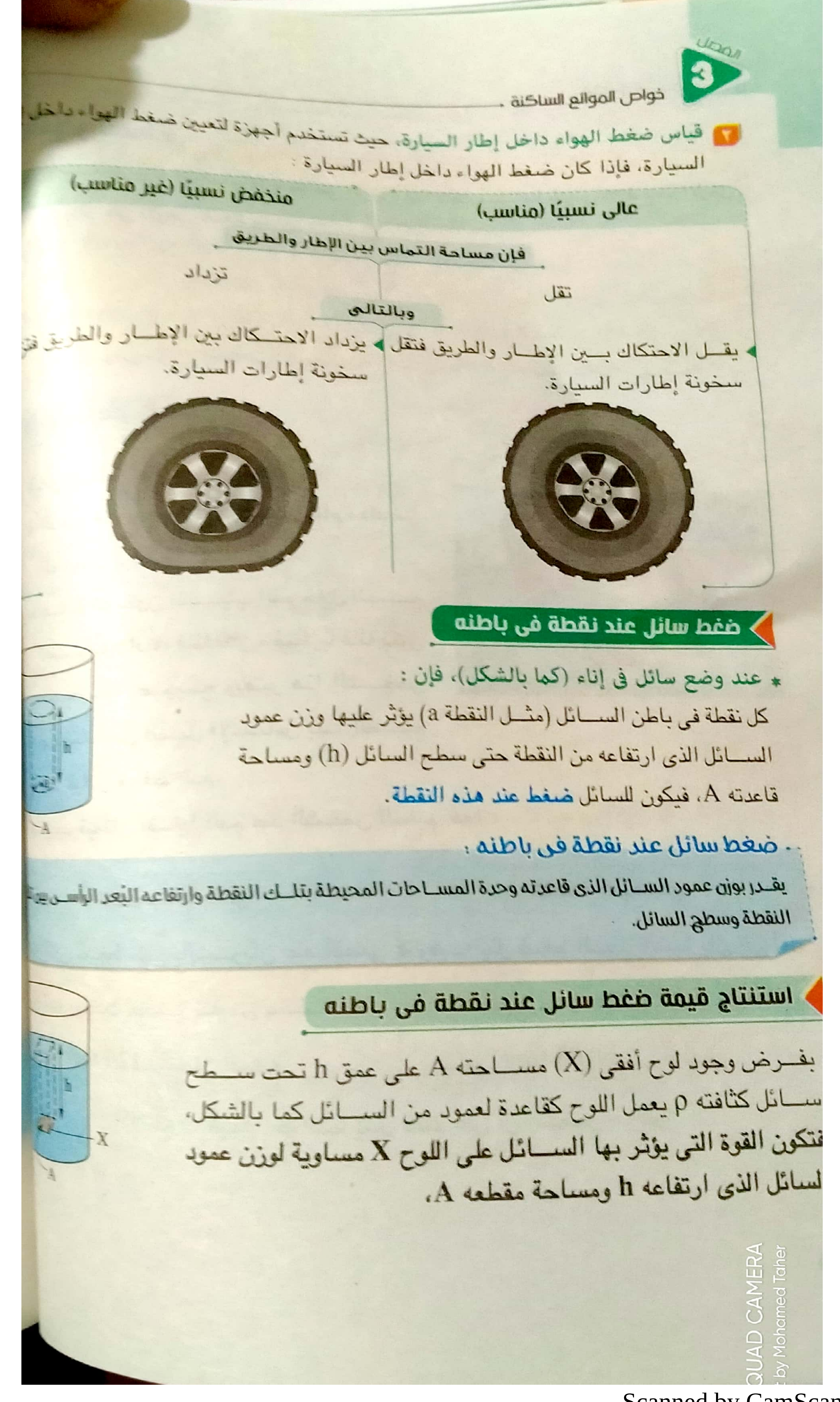
* الدم سائل لزج يُضخ من خلال نظام معقد من الشرايين بواسطة عضلة القلب.
* عـادةً ما يكون انسـياب الدم خلال الجسـم انسـيابًا هادئًا، فإذا كان مضطربًا فإنه يكون مصحوبًـا بضجيـج ويعتبر هذا الشـخص مريضًا، ومن السهل الإحساس بهذا الضجيج عند قياس ضغط الدم.



* **توجد قيمتان لضغط الدم عند الشخص السليم، هما :**

الضغط الانقباضى	الضغط الانبساطى
وفيه يكون ضغط الدم بالشـريان عند **أقصى** قيمة لـه ويحدث عندمـا تنقبض عضلـة القلب ويساوى **120 torr** للإنسان السليم.	وفيـه يقل ضغط الـدم بالشـريان **إلى أقل** ما يمكـن ويحدث عندما تنبسـط عضلة القلب ويساوى **80 torr** للإنسان السليم.

إذا تغيرت قيمة إحداهما يدل ذلك على أن الشخص مريض



٢ قياس ضغط الهواء داخل إطار السيارة، حيث تستخدم أجهزة لتعيين ضغط الهواء داخل إطار السيارة، فإذا كان ضغط الهواء داخل إطار السيارة :

عالى نسبيًا (مناسب)	منخفض نسبيًا (غير مناسب)
فإن مساحة التماس بين الإطار والطريق	
تقل	تزداد
وبالتالى	
يقل الاحتكاك بين الإطار والطريق فتقل سخونة إطارات السيارة.	يزداد الاحتكاك بين الإطار والطريق فتزداد سخونة إطارات السيارة.

ضغط سائل عند نقطة فى باطنه

* عند وضع سائل فى إناء (كما بالشكل)، فإن :

كل نقطة فى باطن السائل (مثل النقطة a) يؤثر عليها وزن عمود السائل الذى ارتفاعه من النقطة حتى سطح السائل (h) ومساحة قاعدته A، فيكون للسائل ضغط عند هذه النقطة.

ضغط سائل عند نقطة فى باطنه :

يقدر بوزن عمود السائل الذى قاعدته وحدة المساحات المحيطة بتلك النقطة وارتفاعه البُعد الرأسى بين النقطة وسطح السائل.

استنتاج قيمة ضغط سائل عند نقطة فى باطنه

بفرض وجود لوح أفقى (X) مساحته A على عمق h تحت سطح سائل كثافته ρ يعمل اللوح كقاعدة لعمود من السائل كما بالشكل، فتكون القوة التى يؤثر بها السائل على اللوح X مساوية لوزن عمود السائل الذى ارتفاعه h ومساحة مقطعه A.

ويتعين وزن السائل (F_g) من العلاقة :

$$F_g = mg$$

حيث : (m) كتلة عمود السائل.

$$\because m = \rho V_{ol}$$

حيث : (V_{ol}) حجم عمود السائل.

$$\because V_{ol} = Ah$$

$$\therefore F_g = \rho A h g$$

∴ ضغط السائل (P) على اللوح X :

$$P = \frac{F_g}{A} = \frac{\rho A h g}{A}$$

$$\therefore \boxed{P = \rho g h}$$

، وهذه قيمة الضغط الذى يؤثر به السائل عند نقطة فى باطنه على عمق h

العوامل التى يتوقف عليها ضغط سائل عند نقطة فى باطنه

١ عجلة الجاذبية الأرضية

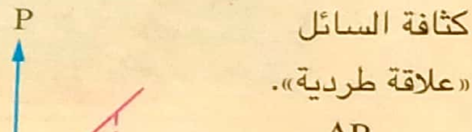
«علاقة طردية».

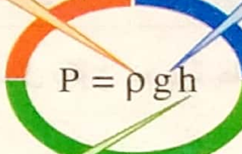
(تتغير قيمة g من مكان لآخر تغيرًا طفيفًا).

٢ كثافة السائل

«علاقة طردية».

$$slope = \frac{\Delta P}{\Delta \rho} = gh$$

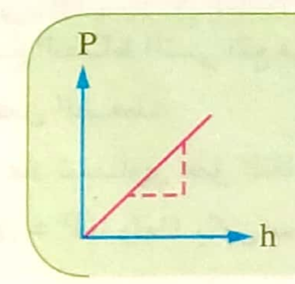




٣ عمق النقطة

«علاقة طردية».

$$slope = \frac{\Delta P}{\Delta h} = \rho g$$



الضغط الكلى عند نقطة فى باطن سائل

* تحاط الأرض بغلاف جوى يتكون من مجموعة من الغازات ونحن نعيش فى قاع هذا الغلاف الجوى، ويسبب ذلك وجود ضغط ناشئ عن وزن عمود الهواء الذى ارتفاعه من نقطة عند مستوى سطح البحر حتى نهاية الغلاف الجوى يطلق عليه **الضغط الجوى**،

• الضغط الجوى : مقدار وزن عمود من الهواء مساحة مقطعه وحدة المساحات وارتفاعه من مستوى سطح البحر حتى قمة الغلاف الجوى.



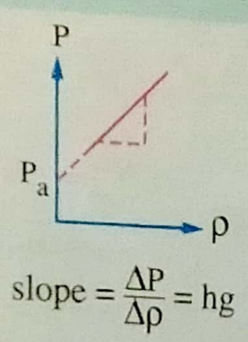
وبالتالى إذا كان سطح السائل معرض للهواء فإنه يتأثر بالضغط الجوى الذى ينشأ عن وزن عمود الهواء المؤثر على سطح السائل.

∴ **الضغط الكلى عند نقطة فى باطن سائل يتعين من العلاقة :**

$$P = P_a + \rho gh$$

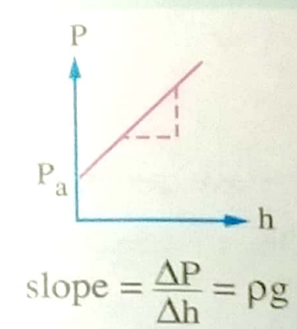
* **فى هذه الحالة يكون التمثيل البيانى للعلاقة بين :**

الضغط الكلى (P) عند نقاط على نفس العمق فى سوائل مختلفة، وكثافة هذه السوائل (ρ)



$slope = \frac{\Delta P}{\Delta \rho} = hg$

الضغط الكلى (P) عند نقاط على أعماق مختلفة فى نفس السائل وعمق هذه النقاط (h)



$slope = \frac{\Delta P}{\Delta h} = \rho g$

ملاحظات

(١) الضغط كمية قياسية.

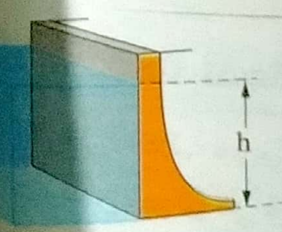
(٢) يؤثر الضغط عند نقطة تقع فى باطن سائل **فى جميع الاتجاهات.**

(٣) الضغط على جسم فى باطن سائل يكون عموديًا على كل نقطة على سطحه.

(٤) جميع النقاط التى تقع فى مستوى أفقى واحد فى باطن سائل ساكن متجانس يكون لها نفس الضغط.

لأن عند تساوى عمق النقاط (h) أسفل السطح وتساوى الكثافة (ρ) تتساوى الضغوط حيث ($P = \rho gh$)، ولهذا يكون مستوى سطح الماء ثابتًا فى المحيطات والبحار المفتوحة.

(٥) تُبنى السدود بحيث تكون **أكثر سُمكًا عند القاعدة،** **حتى** تتحمل الزيادة فى الضغط الناتجة عن زيادة عمق المياه حيث أن **الضغط يتناسب طرديًا مع العمق** ($P \propto h$).



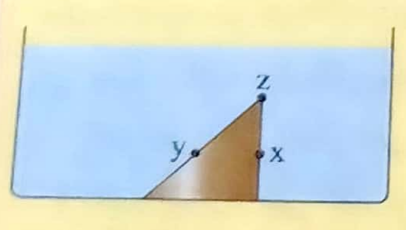
(٦) يحفظ الضغط داخل الطائرات والغواصات بحيث يكون مساويًا للضغط الجوى.

اختبر نفسك

(١) الشكل المقابل يوضح سمكة تتحرك أفقيًا فى خط مستقيم تحت سطح الماء، ارسم علاقة بيانية بين الضغط المؤثر على جسم السمكة والمسافة الأفقية التى تتحركها.



(٢) الشكل المقابل يوضح منظر جانبى لمنشور ثلاثى مغمور فى حوض به ماء، أى النقاط (z ، y ، x) يكون الضغط عندها أكبر ؟ مع التفسير.



....

....

مثال (١)

حوض مساحة قاعدته $1000\ cm^2$ به ماء مالح كثافته $1030\ kg/m^3$ وارتفاع الماء به $1\ m$، فإذا كان سطح الحوض معرضًا للهواء الجوى، احسب :

(١) الضغط الكلى المؤثر على قاعدة الحوض.

(٢) القوة الضاغطة الكلية المؤثرة على قاعدة الحوض.

(علمًا بأن : $g = 10\ m/s^2$ ، $P_a = 1.013 \times 10^5\ N/m^2$)

الحل

$A = 1000\ cm^2$ | $\rho = 1030\ kg/m^3$ | $h = 1\ m$ | $P_a = 1.013 \times 10^5\ N/m^2$


$g = 10\ m/s^2$ | $P = ?$ | $F = ?$

(١)

$$P = P_a + \rho g h$$
$$= (1.013 \times 10^5) + (1030 \times 10 \times 1)$$
$$= 1.116 \times 10^5 \ N/m^2$$

(٢)

$$F = PA$$
$$= 1.116 \times 10^5 \times 1000 \times 10^{-4} = 1.116 \times 10^4 \ N$$

مثال ٢

غواصة على عمق 50 m من سطح ماء بحر كثافته $1030 \ kg/m^3$، إذا كانت الغواصة تحتوى على قمرة (نافذة دائرية) زجاجية نصف قطرها 20 cm، **احسب :**

(١) الضغط الكلى المؤثر على القمرة.

(٢) القوة المؤثرة على القمرة. $(g = 10 \ m/s^2)$

الحل

$h = 50$ m	$\rho = 1030 \ kg/m^3$	$r = 20$ cm	$g = 10 \ m/s^2$	$P = ?$	$F = ?$

(١) ∵ الضغط داخل الغواصة يعادل الضغط الجوى.

∴ الضغط الكلى المؤثر على قمرة الغواصة :

$$P = P_a + \rho g h - P_a$$
$$= \rho g h$$

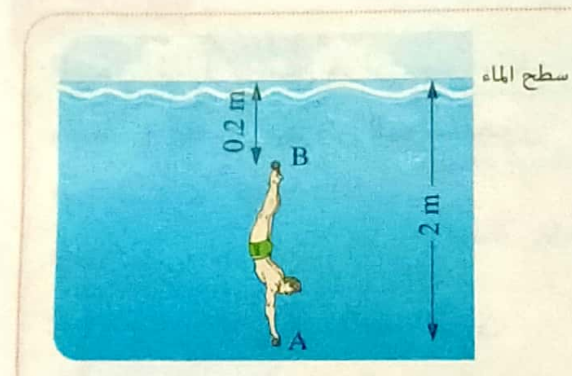
∴ الضغط الكلى المؤثر على قمرة الغواصة يعادل ضغط الماء فقط.

$$\therefore P = 1030 \times 10 \times 50$$
$$= 5.15 \times 10^5 \ N/m^2$$

(٢)

$$F = PA = P\pi r^2$$
$$= 5.15 \times 10^5 \times \frac{22}{7} \times (20 \times 10^{-2})^2$$
$$= 6.47 \times 10^4 \ N$$

مثال ٣



يغوص سباح رأسيًا لأسفل فى نهر كما بالشكل، فـإذا كانـت كثافة مـاء النهـر $1000\ kg/m^3$، احسب فرق الضغط بين النقطتين A ، B
$(g = 9.8\ m/s^2)$

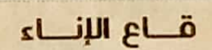
الحـل

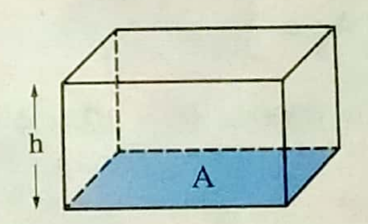
$h_A = 2\ m$	$h_B = 0.2\ m$	$\rho = 1000\ kg/m^3$	$g = 9.8\ m/s^2$	$\Delta P = ?$

$$\Delta P = P_A - P_B$$
$$= \rho g\,(h_A - h_B)$$
$$= 1000 \times 9.8 \times (2 - 0.2) = \mathbf{17.64 \times 10^3\ N/m^2}$$

إرشاد

* لحساب القوة التى يؤثر بها سائل موضوع داخل إناء على :


قــاع الإنــاء

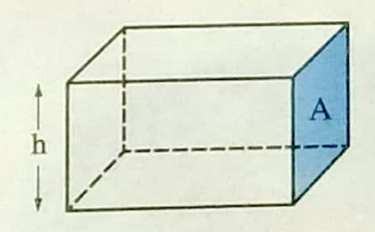


$$F = PA$$

حيث : (P) الضغط على قاع الإناء.

$$\therefore F = \rho g h A$$
$$= \rho g V_{ol}$$

أحد الجوانب الرأسية للإناء



$$F = PA$$

حيث : (P) متوسط الضغط على جانب الإناء الرأسى.

$$\therefore F = \rho g \times \frac{1}{2} hA$$
$$= \frac{1}{2}\rho g h A = \frac{1}{2}\rho g V_{ol}$$

مثال

الشكل المقابل يوضح خزان مملوء بالماء وسطحه العلوى معرض للهواء الجوى الذى ضغطه $10^5\ N/m^2$،

احسب :

(١) الضغط الكلى على قاعدة الخزان.

(٢) القوة التى يؤثر بها الماء على الوجه x

(٣) القوة التى يؤثر بها الماء على الوجه y

(علمًا بأن : كثافة الماء = $1000\ kg/m^3$، عجلة الجاذبية الأرضية = $10\ m/s^2$)

الحل

$P_a = 10^5\ N/m^2$ | $\rho = 1000\ kg/m^3$ | $g = 10\ m/s^2$

$P = ?$ | $F_x = ?$ | $F_y = ?$

(١)

$$P = P_a + \rho g h_x$$

$$= 10^5 + (1000 \times 10 \times 12) = 2.2 \times 10^5\ N/m^2$$

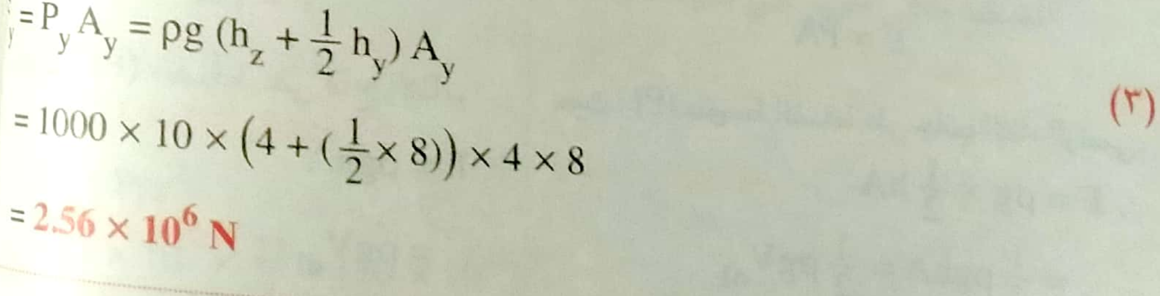
(٢)

$$F_x = P_x A_x = \frac{1}{2} \rho g h_x A_x$$

$$= \frac{1}{2} \times 1000 \times 10 \times 12 \times 4 \times 12$$

$$= 2.88 \times 10^6\ N$$

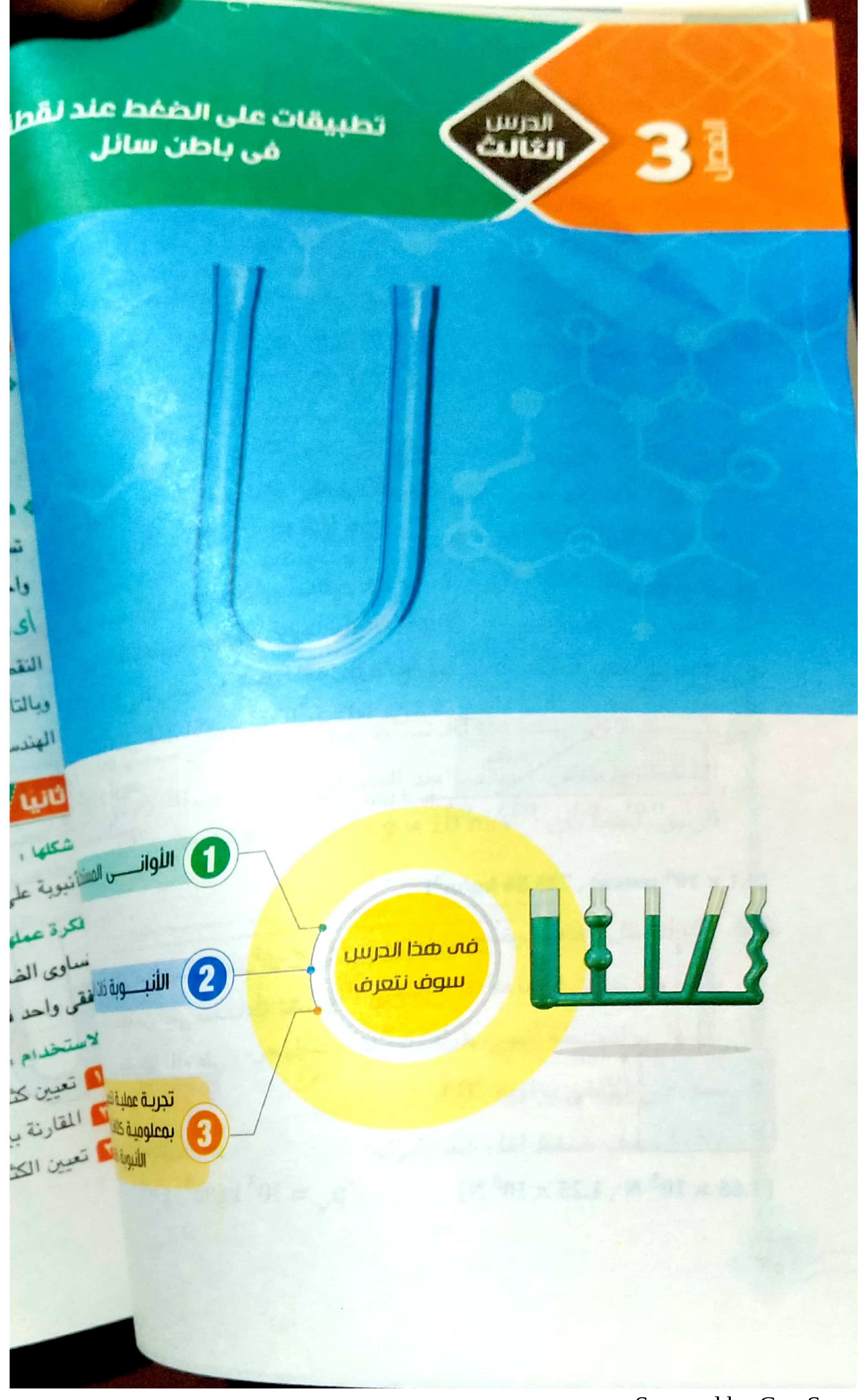
(٣)

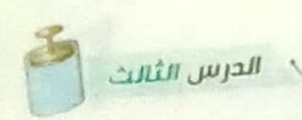


$$F_y = P_y A_y = \rho g \left(h_z + \frac{1}{2} h_y\right) A_y$$

$$= 1000 \times 10 \times \left(4 + \left(\frac{1}{2} \times 8\right)\right) \times 4 \times 8$$

$$= 2.56 \times 10^6\ N$$


الفصل
3
الدرس
الثالث
تطبيقات على الضغط عند نقط
فى باطن سائل
فى هذا الدرس
سوف نتعرف
1
الأوانى المستـ
2
الأنبـوبة ذات
3
تجربة عملية
بمعلومية كثافة
الأنبوبة



* من أهم التطبيقات على الضغط عند نقطة فى باطن سائل :









وفيما يلى سنتعرف على كل منها بشىء من التفصيل.

أولًا الأوانى المستطرقة

❖ **شكلها :**

عبارة عن مجموعة من الأوانى مختلفة الشكل ومتصلة معًا عبر قاعدة مشتركة أفقية.

❖ **فكرة عملها :**

تســاوى الضغط عند جميع النقاط الواقعة فى مســتوى أفقى واحد فى باطن سائل ساكن متجانس،

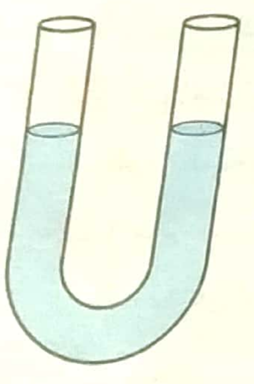
أى أن : الضغط عند النقطة A = الضغط عند النقطة B = الضغط عند النقطة C = الضغط عند النقطة D = الضغط عند النقطة E،

وبالتالى الســائل الذى يملأ الإناء يرتفع بنفس المقدار فى هذه الأجزاء بغض النظر عن الأشكال الهندسية لها بشرط أن تكون قاعدة الإناء فى مستوى أفقى.

ثانيًا الأنبوبة ذات الشعبتين

❖ **شكلها :**

أنبوبة على شكل حرف U

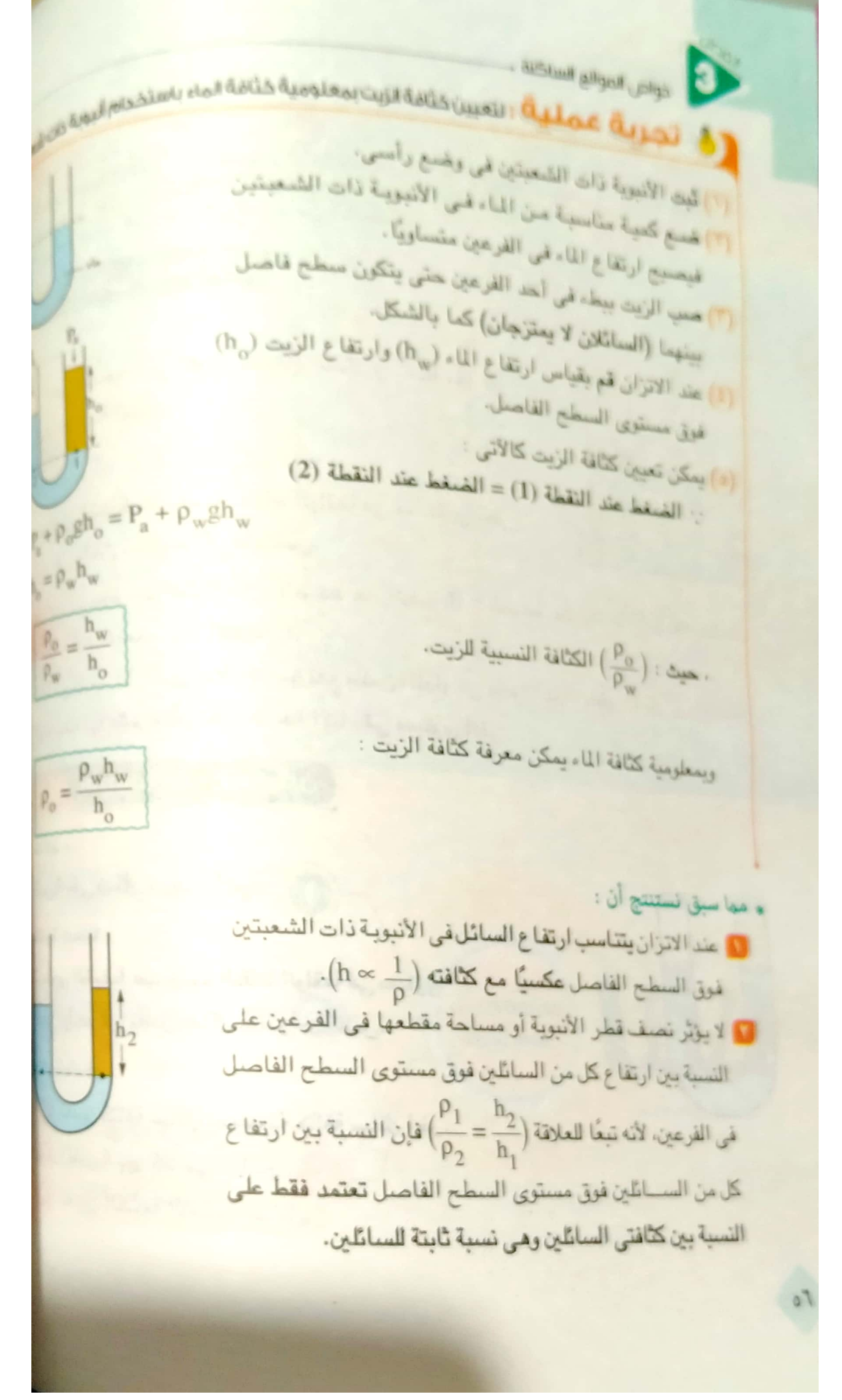


❖ **فكرة عملها :**

تساوى الضغط عند جميع النقاط الواقعة فى مستوى أفقى واحد فى باطن سائل ساكن متجانس.

❖ **الاستخدام :**

1. تعيين كثافة سائل بمعلومية كثافة سائل آخر.
2. المقارنة بين كثافتى سائلين.
3. تعيين الكثافة النسبية لسائل.



تجربة عملية : لتعيين كثافة الزيت بمعلومية كثافة الماء باستخدام أنبوبة ذات شعبتين

(١) ثبت الأنبوبة ذات الشعبتين فى وضع رأسى.

(٢) ضع كمية مناسبة من الماء فى الأنبوبة ذات الشعبتين فيصبح ارتفاع الماء فى الفرعين متساويًا.

(٣) صب الزيت ببطء فى أحد الفرعين حتى يتكون سطح فاصل بينهما (السائلان لا يمتزجان) كما بالشكل.

(٤) عند الاتزان قم بقياس ارتفاع الماء (h_w) وارتفاع الزيت (h_o) فوق مستوى السطح الفاصل.

(٥) يمكن تعيين كثافة الزيت كالآتى :

∵ الضغط عند النقطة (1) = الضغط عند النقطة (2)

$$P_a + \rho_o g h_o = P_a + \rho_w g h_w$$

$$\rho_o h_o = \rho_w h_w$$

$$\frac{\rho_o}{\rho_w} = \frac{h_w}{h_o}$$

، حيث : $\left(\frac{\rho_o}{\rho_w}\right)$ الكثافة النسبية للزيت.

وبمعلومية كثافة الماء يمكن معرفة كثافة الزيت :

$$\rho_o = \frac{\rho_w h_w}{h_o}$$

• مما سبق نستنتج أن :

١ عند الاتزان يتناسب ارتفاع السائل فى الأنبوبة ذات الشعبتين فوق السطح الفاصل عكسيًا مع كثافته $\left(h \propto \frac{1}{\rho}\right)$.

٢ لا يؤثر نصف قطر الأنبوبة أو مساحة مقطعها فى الفرعين على النسبة بين ارتفاع كل من السائلين فوق مستوى السطح الفاصل فى الفرعين، لأنه تبعًا للعلاقة $\left(\frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{h_2}{h_1}\right)$ فإن النسبة بين ارتفاع كل من السائلين فوق مستوى السطح الفاصل تعتمد فقط على النسبة بين كثافتى السائلين وهى نسبة ثابتة للسائلين.

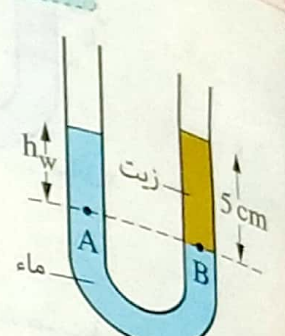


مثال ١

أنبوبة على شكل حرف U منتظمة المقطع ملئت جزئيًا بماء كثافته $1000\ kg/m^3$ ثم صب في أحد فرعيها كمية من زيت كثافته $800\ kg/m^3$ حتى أصبح طول عمود الزيت فوق مستوى السطح الفاصل $5\ cm$ عند الاتزان، **احسب** ارتفاع الماء فوق مستوى السطح الفاصل.

الحل

$\rho_w = 1000\ kg/m^3$ | $\rho_o = 800\ kg/m^3$ | $h_o = 5\ cm$ | $h_w = ?$



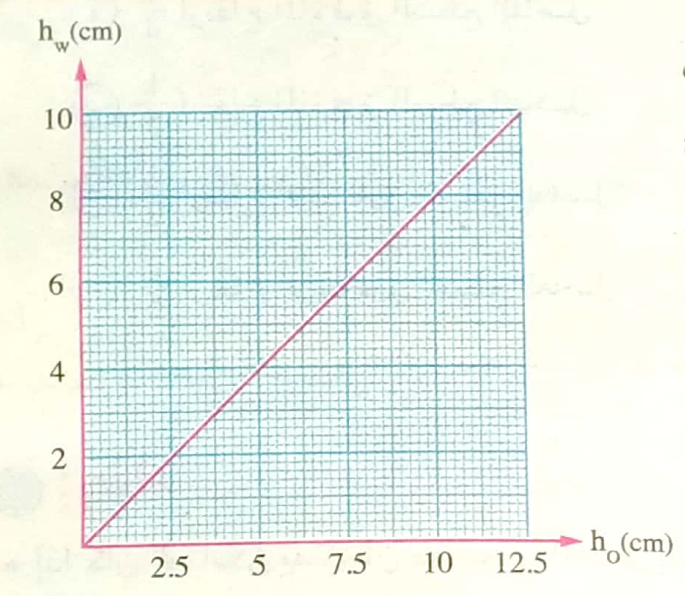
$$P_A = P_B$$

$$\rho_w h_w = \rho_o h_o$$

$$h_w = \frac{\rho_o h_o}{\rho_w} = \frac{800 \times 5}{1000} = 4\ cm$$

مثال ٢

أنبوبة ذات شعبتين تحتوي على كمية من الماء صب في أحد فرعيها زيت بالتدريج والشكل المقابل يوضح العلاقة البيانية بين كل من ارتفاع الماء (h_w) وارتفاع الزيت (h_o) فوق مستوى السطح الفاصل، **احسب** الكثافة النسبية للزيت.



الحل

$$\text{slope} = \frac{\Delta h_w}{\Delta h_o} = \frac{10 - 0}{12.5 - 0} = 0.8$$

$$\because (\rho_o)_{\text{النسبية}} = \frac{\rho_o}{\rho_w} = \frac{h_w}{h_o} = \text{slope} = 0.8$$

إرشاد

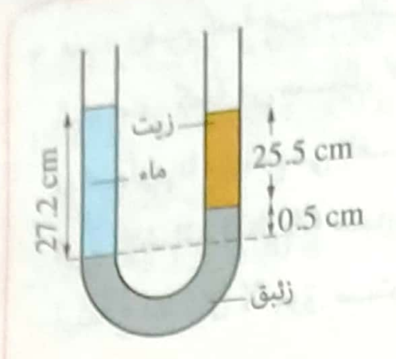
* إذا كان **السائلان يمتزجان** معًا يمكن الفصل بينهما بسـائل ثالث لا يمتزج مع أى منهما (مثل استخدام الزئبق للفصل بين الماء والكحول).

* فى حالـة الاتـزان بين أكثر مـن سائلـين يكـون :

$$\rho_1 h_1 = \rho_2 h_2 + \rho_3 h_3$$

مثال

فى الشكل المقابل أنبوبة ذات شعبتين منتظمة المقطع رأسية بها ثلاثة سوائل متزنة، فإذا علمت أن الكثافة النسبية للزئبق 13.6، احسب الكثافة النسبية للزيت.

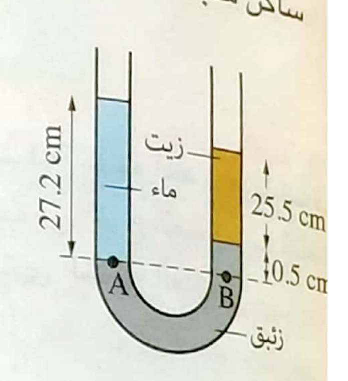


الحل

$\rho_{(\text{النسبية للزئبق})} = 13.6$ | $h_{(\text{زئبق})} = 0.5\ cm$ | $h_{(\text{زيت})} = 25.5\ cm$ | $h_{(\text{ماء})} = 27.2\ cm$

$\rho_{(\text{النسبية للزيت})} = ?$

∵ جميع النقاط التى تقع فى مستوى أفقى واحد فى باطن سائل ساكن متجانس يكون لها نفس الضغط.



$$\therefore P_A = P_B$$

$$\rho_{(\text{ماء})} h_{(\text{ماء})} = \rho_{(\text{زئبق})} h_{(\text{زئبق})} + \rho_{(\text{زيت})} h_{(\text{زيت})}$$

بالقسمة على $\rho_{(\text{ماء})}$:

$$h_{(\text{ماء})} = \rho_{(\text{النسبية للزئبق})} h_{(\text{زئبق})} + \rho_{(\text{النسبية للزيت})} h_{(\text{زيت})}$$

$$27.2 = (13.6 \times 0.5) + (\rho_{(\text{النسبية للزيت})} \times 25.5)$$

$$\rho_{(\text{النسبية للزيت})} = \mathbf{0.8}$$

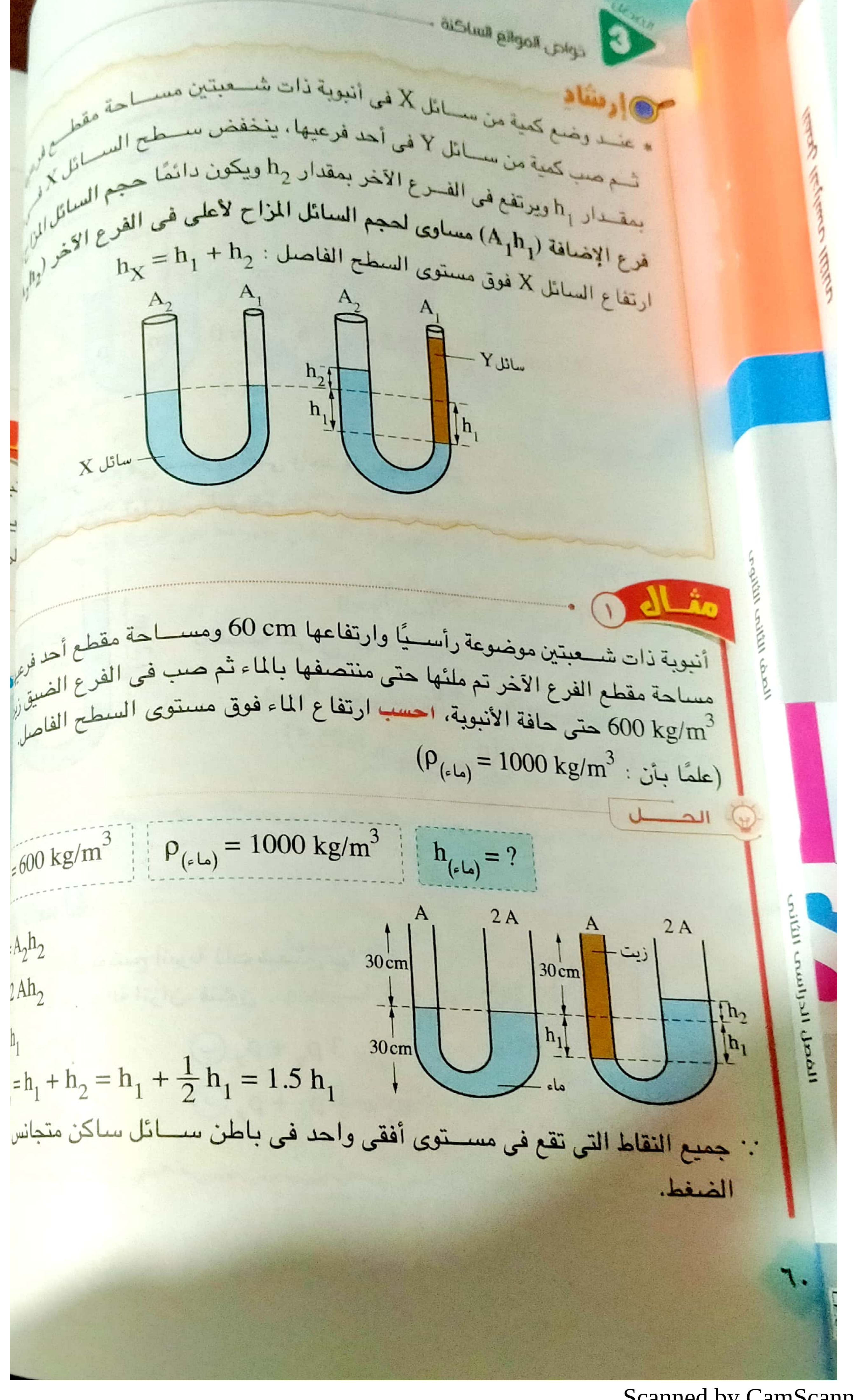
اختبر نفسك

اختر: الشكل المقابل يوضح أنبوبة ذات شعبتين بها ثلاثة سوائل x ، y ، z فى حالة اتزان، فتكون ....

ساﺋل x
ساﺋل z
ساﺋل y
3 h
3 h
h

أ) $\rho_x = \rho_y + \rho_z$ ب) $\rho_x = 3\,\rho_y + \rho_z$

ج) $\rho_x = \rho_y + 3\,\rho_z$ د) $\rho_x = \frac{1}{3}\,\rho_y + \rho_z$



إرشاد

* عند وضع كمية من سائل X فى أنبوبة ذات شعبتين مساحة مقطع فرعيها ...
ثم صب كمية من سائل Y فى أحد فرعيها، ينخفض سطح السائل X فى ...
بمقدار h_1 ويرتفع فى الفرع الآخر بمقدار h_2 ويكون دائمًا حجم السائل المزاح ...
فرع الإضافة (A_1h_1) مساوى لحجم السائل المزاح لأعلى فى الفرع الآخر (A_2h_2)
ارتفاع السائل X فوق مستوى السطح الفاصل : $h_X = h_1 + h_2$

مثال (١)

أنبوبة ذات شعبتين موضوعة رأسيًا وارتفاعها 60 cm ومساحة مقطع أحد فرعيها ...
مساحة مقطع الفرع الآخر تم ملئها حتى منتصفها بالماء ثم صب فى الفرع الضيق زيت ...
600 kg/m³ حتى حافة الأنبوبة، **احسب** ارتفاع الماء فوق مستوى السطح الفاصل.
(علمًا بأن : $\rho_{(ماء)} = 1000\ kg/m^3$)

الحل

... $= 600\ kg/m^3$	$\rho_{(ماء)} = 1000\ kg/m^3$	$h_{(ماء)} = ?$

... A_2h_2

... $2Ah_2$

... h_1

$$... = h_1 + h_2 = h_1 + \frac{1}{2} h_1 = 1.5\ h_1$$

∵ جميع النقاط التى تقع فى مستوى أفقى واحد فى باطن سائل ساكن متجانس ...
الضغط.

$\therefore \rho_{(ماء)} h_{(ماء)} = \rho_{(زيت)} h_{(زيت)}$

$1000 \times 1.5 h_1 = 600 (30 + h_1)$

$1500 h_1 = 18000 + 600 h_1$

$\therefore h_1 = 20 \text{ cm}$

$\therefore h_{(ماء)} = 1.5 \times 20 = \mathbf{30 \text{ cm}}$

مثال (٢)

أنبوبة ذات شعبتين منتظمة المقطع ارتفاعها الرأسى 50 cm ، مُلئت لمنتصفها بالماء ثم صب زيت فى أحد فرعيها حتى حافته، **احسب** ارتفاع الزيت فوق السطح الفاصل إذا كانت كثافة الزيت 750 kg/m^3 وكثافة الماء 1000 kg/m^3

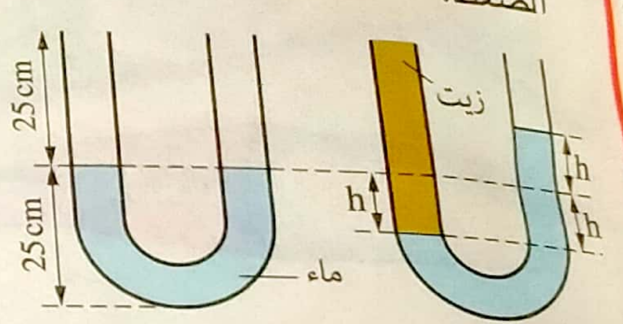
الحل

$h_{(زيت)} = ?$	$\rho_{(ماء)} = 1000 \text{ kg/m}^3$	$\rho_{(زيت)} = 750 \text{ kg/m}^3$

وسيلة مساعدة

عند وضع الماء فقط فى الأنبوبة ذات الشعبتين يكون مستوى سطح الماء فى فرعيها فى مستوى أفقى واحد، وعند صب زيت فى أحد فرعيها فإن سطح الماء ينخفض فى هذا الفرع بمقدار وليكن h فيرتفع الماء فى الفرع الآخر بنفس المقدار (h) لأن حجم الماء المزاح لأسفل فى فرع الإضافة يساوى حجم الماء المزاح لأعلى فى الفرع الآخر وبالتالى يصبح ارتفاع الماء فوق مستوى السطح الفاصل 2 h

∵ جميع النقاط التى تقع فى مستوى أفقى واحد فى باطن سائل ساكن متجانس لها نفس الضغط.



$\rho_{(ماء)} h_{(ماء)} = \rho_{(زيت)} h_{(زيت)}$

$1000 \times 2 h = 750 (25 + h)$

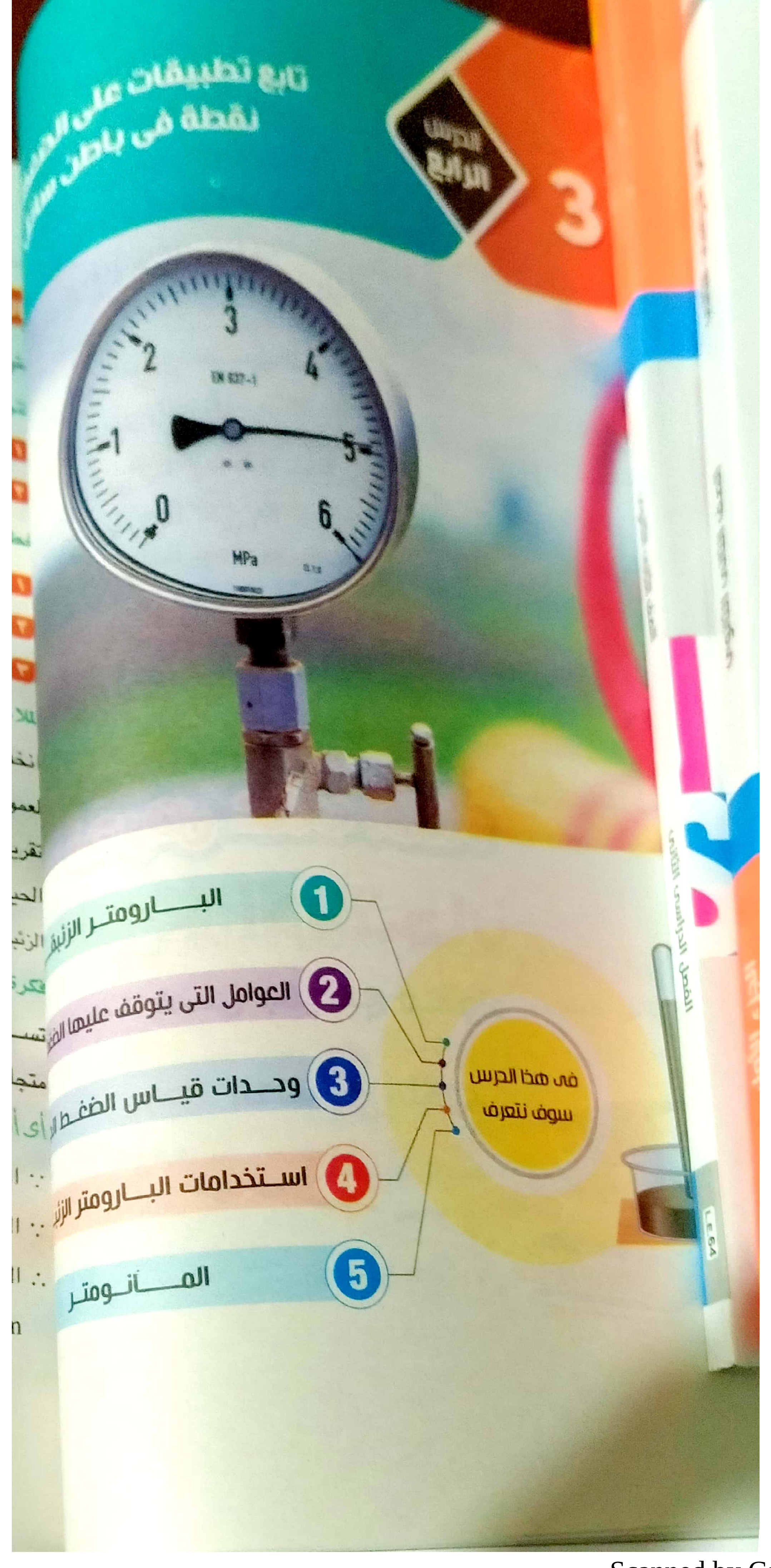
$2000 h = 18750 + 750 h$

$h = 15 \text{ cm}$

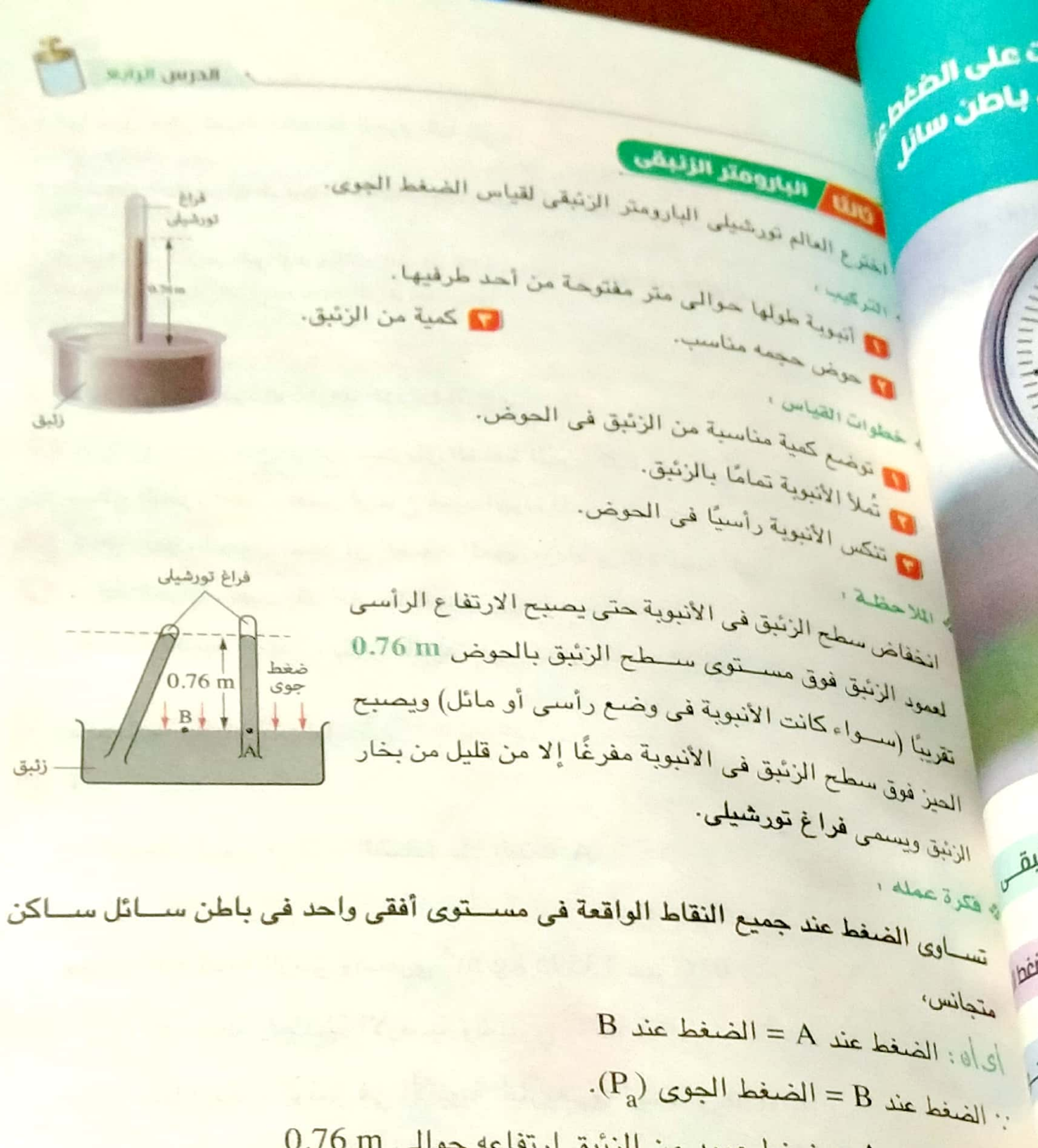
$h_{(زيت)} = 25 + h$

$= 25 + 15$

$= \mathbf{40 \text{ cm}}$



تابع تطبيقات على الضغط
نقطة فى باطن سائل
الدرس الرابع
3
في هذا الدرس سوف نتعرف
1 البارومتر الزئبقى
2 العوامل التى يتوقف عليها الضغط
3 وحدات قياس الضغط
4 استخدامات البارومتر الزئبقى
5 المانومتر



ثالثًا البارومتر الزئبقى

اخترع العالم تورشيلى البارومتر الزئبقى لقياس الضغط الجوى.

التركيب :

1. أنبوبة طولها حوالى متر مفتوحة من أحد طرفيها.
2. حوض حجمه مناسب.
3. كمية من الزئبق.

خطوات القياس :

1. توضع كمية مناسبة من الزئبق فى الحوض.
2. تُملأ الأنبوبة تمامًا بالزئبق.
3. تنكس الأنبوبة رأسيًا فى الحوض.

الملاحظة :

انخفاض سطح الزئبق فى الأنبوبة حتى يصبح الارتفاع الرأسى لعمود الزئبق فوق مستوى سطح الزئبق بالحوض **0.76 m** تقريبًا (سواء كانت الأنبوبة فى وضع رأسى أو مائل) ويصبح الحيز فوق سطح الزئبق فى الأنبوبة مفرغًا إلا من قليل من بخار الزئبق ويسمى **فراغ تورشيلى**.

فكرة عمله :

تساوى الضغط عند جميع النقاط الواقعة فى مستوى أفقى واحد فى باطن سائل ساكن متجانس،

أى أن : الضغط عند A = الضغط عند B

∵ الضغط عند B = الضغط الجوى (P_a).

∵ الضغط عند A = ضغط عمود من الزئبق ارتفاعه حوالى 0.76 m

∴ الضغط الجوى (P_a) يكافئ الضغط الناشئ عن وزن عمود من الزئبق ارتفاعه حوالى 0.76 m ومساحة مقطعه $1\ m^2$ عند درجة صفر سيلزيوس.

* مما سبق يمكن تعريف الضغط الجوى كما يلى :

. **الضغط الجوى :**

مقدار وزن عمود من الهواء مساحة مقطعه وحدة المساحات وارتفاعه من مستوى سطح البحر حتى نهاية الغلاف الجوى.

أو

ضغط الهواء عند سطح البحر ويكافئ الضغط الناشئ عن وزن عمود من الزئبق ارتفاعه حوالى m ... ومساحة مقطعه $1\ m^2$ عند درجة الصفر سيلزيوس.

العوامل التى يتوقف عليها الضغط الجوى

١ الارتفاع عن سطح البحر، حيث يقل الضغط الجوى كلما اتجهنا رأسيًا لأعلى فوق سطح البحر، بسبب نقص ارتفاع عمود الهواء المسبب للضغط.

٢ كثافة الهواء الجوى، حيث أن الضغط الجوى يزداد بزيادة كثافة الهواء.

٣ درجة الحرارة، حيث يقل الضغط الجوى بزيادة درجة الحرارة.

٤ عجلة الجاذبية الأرضية، يكون تأثيرها غير ملحوظ إلا مع الارتفاعات الكبيرة.

استخدامات البارومتر الزئبقى

١ قياس الضغط الجوى :

∵ الضغط الجوى (P_a) = الضغط عند النقطة A

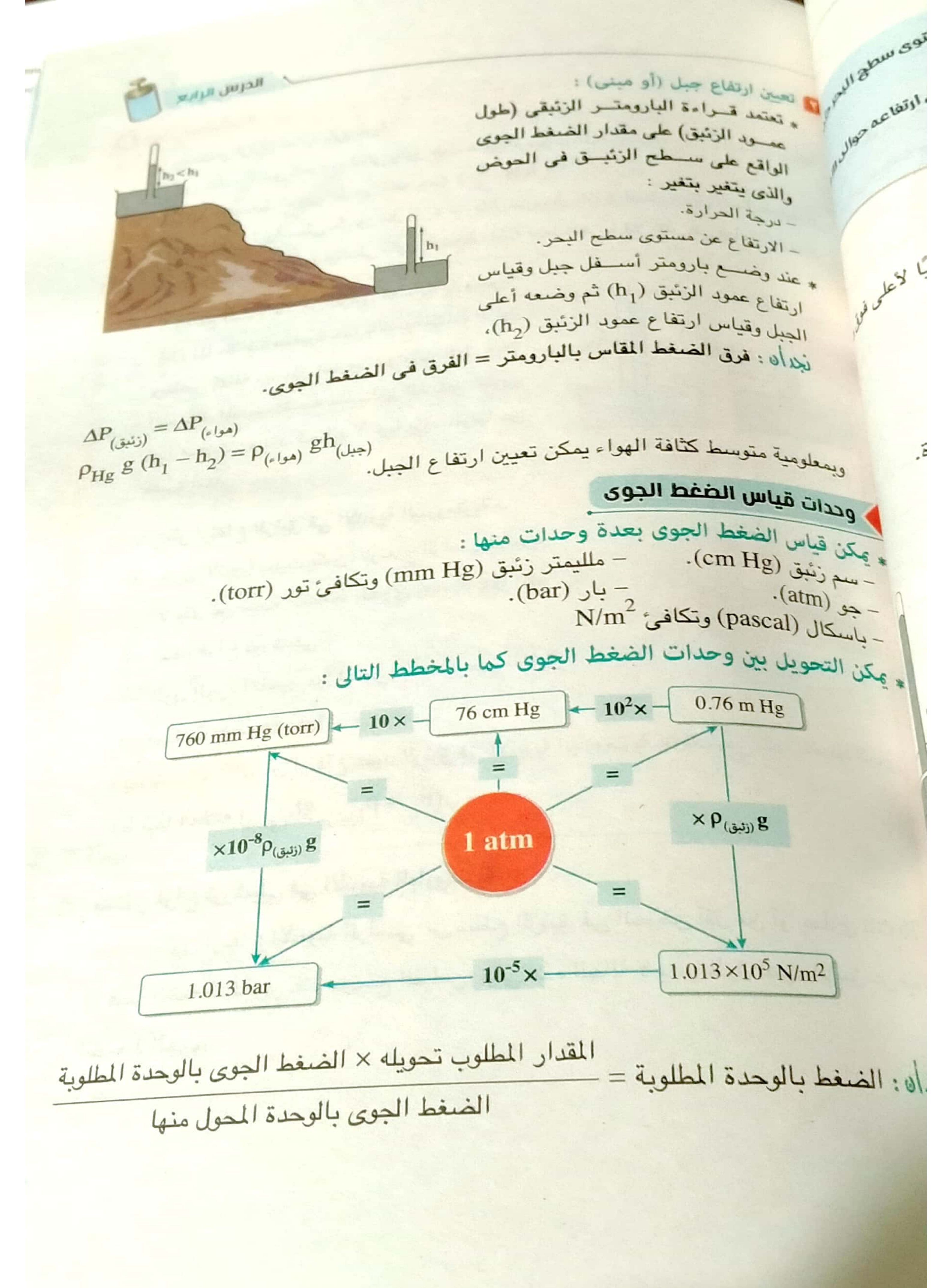
$$\therefore P_a = P_A = \rho g h$$

حيث : (ρ) كثافة الزئبق وتساوى $13595\ kg/m^3$ عند $0°C$،

(g) عجلة الجاذبية الأرضية وتساوى $9.8\ m/s^2$،

(h) ارتفاع الزئبق فى الأنبوبة البارومترية ويساوى $0.76\ m$

$$\therefore P_a = 13595 \times 9.8 \times 0.76 = \mathbf{1.013 \times 10^5\ N/m^2}$$



٢ تعيين ارتفاع جبل (أو مبنى) :

* تعتمد قراءة البارومتر الزئبقى (طول عمود الزئبق) على مقدار الضغط الجوى الواقع على سطح الزئبق فى الحوض والذى يتغير بتغير :
  - درجة الحرارة.
  - الارتفاع عن مستوى سطح البحر.

* عند وضع بارومتر أسفل جبل وقياس ارتفاع عمود الزئبق (h_1) ثم وضعه أعلى الجبل وقياس ارتفاع عمود الزئبق (h_2)،

نجد أن : فرق الضغط المقاس بالبارومتر = الفرق فى الضغط الجوى.

$$\Delta P_{(\text{زئبق})} = \Delta P_{(\text{هواء})}$$

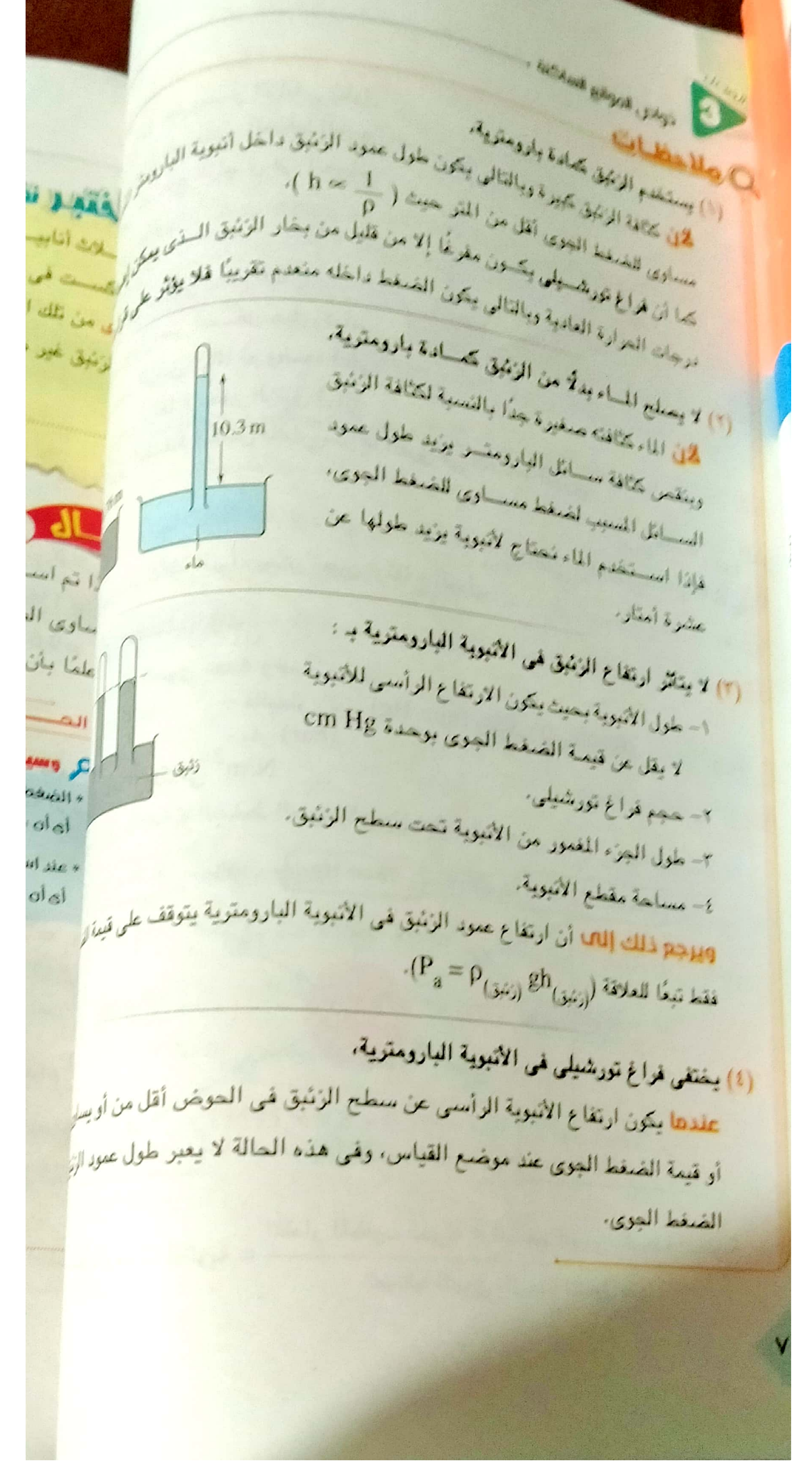
$$\rho_{Hg}\, g\, (h_1 - h_2) = \rho_{(\text{هواء})}\, g h_{(\text{جبل})}$$

وبمعلومية متوسط كثافة الهواء يمكن تعيين ارتفاع الجبل.

وحدات قياس الضغط الجوى

* يمكن قياس الضغط الجوى بعدة وحدات منها :
  - سم زئبق (cm Hg).
  - ملليمتر زئبق (mm Hg) وتكافئ تور (torr).
  - جو (atm).
  - بار (bar).
  - باسكال (pascal) وتكافئ N/m^2
* يمكن التحويل بين وحدات الضغط الجوى كما بالمخطط التالى :

أى : الضغط بالوحدة المطلوبة = $\dfrac{\text{المقدار المطلوب تحويله} \times \text{الضغط الجوى بالوحدة المطلوبة}}{\text{الضغط الجوى بالوحدة المحول منها}}$



ملاحظات

(١) يستخدم الزئبق كمادة بارومترية.

لأن كثافة الزئبق كبيرة وبالتالى يكون طول عمود الزئبق داخل أنبوبة البارومتر المساوى للضغط الجوى أقل من المتر حيث ($h \propto \frac{1}{\rho}$).

كما أن فراغ تورشيلى يكون مفرغًا إلا من قليل من بخار الزئبق الذى يمكن إهماله فى درجات الحرارة العادية وبالتالى يكون الضغط داخله منعدم تقريبًا فلا يؤثر على قراءة البارومتر.

(٢) لا يصلح الماء بدلًا من الزئبق كمادة بارومترية.

لأن الماء كثافته صغيرة جدًا بالنسبة لكثافة الزئبق وبنقص كثافة سائل البارومتر يزيد طول عمود السائل المسبب لضغط مساوى للضغط الجوى، فإذا استخدم الماء نحتاج لأنبوبة يزيد طولها عن عشرة أمتار.

(٣) لا يتأثر ارتفاع الزئبق فى الأنبوبة البارومترية بـ :

١- طول الأنبوبة بحيث يكون الارتفاع الرأسى للأنبوبة لا يقل عن قيمة الضغط الجوى بوحدة cm Hg

٢- حجم فراغ تورشيلى.

٣- طول الجزء المغمور من الأنبوبة تحت سطح الزئبق.

٤- مساحة مقطع الأنبوبة.

ويرجع ذلك إلى أن ارتفاع عمود الزئبق فى الأنبوبة البارومترية يتوقف على قيمة الضغط الجوى فقط تبعًا للعلاقة ($P_a = \rho_{(زئبق)} g h_{(زئبق)}$).

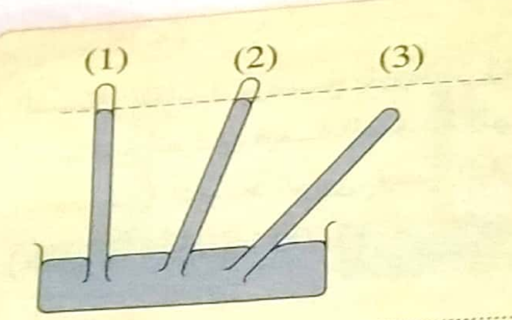
(٤) يختفى فراغ تورشيلى فى الأنبوبة البارومترية.

عندما يكون ارتفاع الأنبوبة الرأسى عن سطح الزئبق فى الحوض أقل من أو يساوى قيمة الضغط الجوى عند موضع القياس، وفى هذه الحالة لا يعبر طول عمود الزئبق عن الضغط الجوى.



اختبر نفسك

ثلاث أنابيب بارومترية مُلئت بالزئبق ثم نُكست فى حوض به زئبق كما بالشكل، أى من تلك الأنابيب يكون فيها طول عمود الزئبق غير ممثل لقيمة الضغط الجوى ؟



مثال (١)

إذا تم استخدام الزيت بدلاً من الزئبق فى البارومتر، **فما** طول عمود الزيت المسبب لضغط يساوى الضغط الجوى المعتاد ؟

(علمًا بأن : كثافة الزيت = $800\ kg/m^3$ ، كثافة الزئبق = $13600\ kg/m^3$)

الحل

وسيلة مساعدة

* الضغط الجوى المعتاد يساوى ضغط عمود من الزئبق ارتفاعه $0.76\ m$

أى أن : $P_a = P_{Hg}$

* عند استخدام الزيت بدلًا من الزئبق يصبح الضغط الجوى المعتاد مساوى لضغط عمود من الزيت ارتفاعه h_o

أى أن : $P_a = P_o$

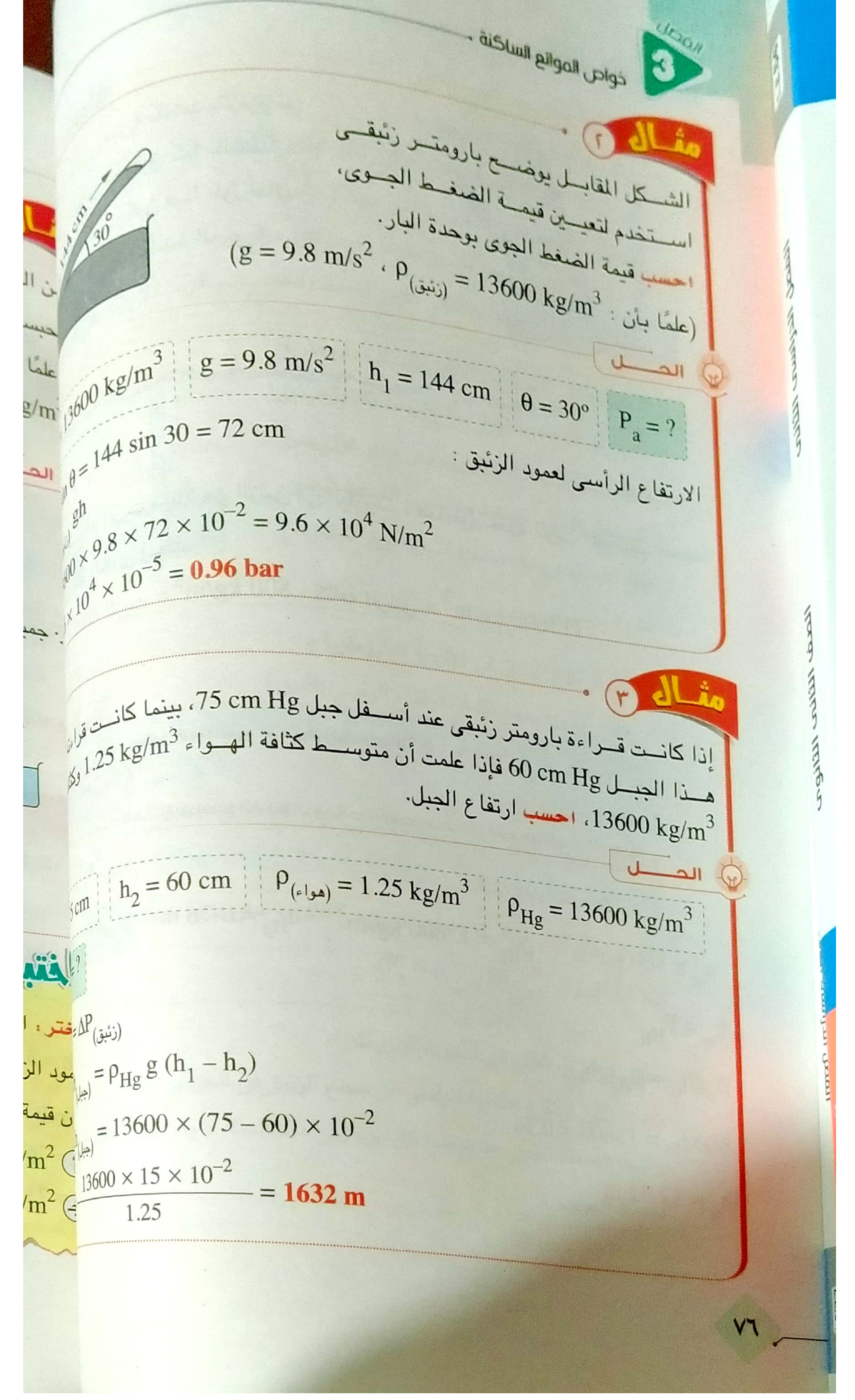
$h_o = ?$	$h_{Hg} = 0.76\ m$	$\rho_{Hg} = 13600\ kg/m^3$	$\rho_o = 800\ kg/m^3$

$$P_o = P_{Hg}$$

$$\rho_o g h_o = \rho_{Hg} g h_{Hg}$$

$$800\ h_o = 13600 \times 0.76$$

$$h_o = \mathbf{12.92\ m}$$



مثال ٢

الشكل المقابل يوضح بارومتر زئبقى استخدم لتعيين قيمة الضغط الجوى، احسب قيمة الضغط الجوى بوحدة البار.

(علمًا بأن: $\rho_{(زئبق)} = 13600\ kg/m^3$ ، $g = 9.8\ m/s^2$)

الحل

$P_a = ?$	$\theta = 30°$	$h_1 = 144\ cm$	$g = 9.8\ m/s^2$	$13600\ kg/m^3$

الارتفاع الرأسى لعمود الزئبق:

$\theta = 144 \sin 30 = 72\ cm$

gh

$00 \times 9.8 \times 72 \times 10^{-2} = 9.6 \times 10^4\ N/m^2$

$\times 10^4 \times 10^{-5} =$ **0.96 bar**

مثال ٣

إذا كانت قراءة بارومتر زئبقى عند أسفل جبل 75 cm Hg، بينما كانت قرا
هذا الجبل 60 cm Hg فإذا علمت أن متوسط كثافة الهواء $1.25\ kg/m^3$ وكثا
$13600\ kg/m^3$، **احسب** ارتفاع الجبل.

الحل

$\rho_{Hg} = 13600\ kg/m^3$	$\rho_{(هواء)} = 1.25\ kg/m^3$	$h_2 = 60\ cm$	$5\ cm$

$\Delta P_{(زئبق)}$

$_{(جبل)} = \rho_{Hg}\, g\, (h_1 - h_2)$

$_{(جبل)} = 13600 \times (75 - 60) \times 10^{-2}$

$\frac{13600 \times 15 \times 10^{-2}}{1.25} =$ **1632 m**

مثال ٤

من الشكل المقابل، **احسب** ضغط الغاز الذى يحبسه عمود الماء.

(علمًا بأن : $\rho_{(زئبق)} = 13600\ kg/m^3$ ، $\rho_{(ماء)} = 1000\ kg/m^3$ ، $g = 9.8\ m/s^2$)

الحل

$h_{(زئبق)} = 76\ cm$ | $h_{(ماء)} = 76\ cm$ | $\rho_{(زئبق)} = 13600\ kg/m^3$

$\rho_{(ماء)} = 1000\ kg/m^3$ | $g = 9.8\ m/s^2$ | $P_{gas} = ?$

∵ جميع النقاط الموجودة فى مستوى أفقى واحد فى باطن سائل ساكن متجانس لها نفس الضغط.

$$\therefore P_x = P_y$$

$$P_a = P_{gas} + P_{(ماء)}$$

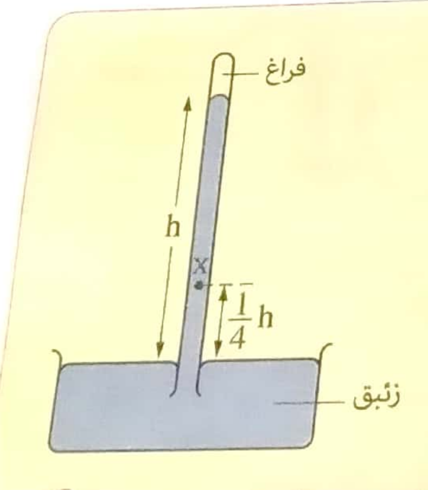
$$P_{gas} = P_a - P_{(ماء)}$$

$$= \rho_{(زئبق)}\, g h_{(زئبق)} - \rho_{(ماء)}\, g h_{(ماء)}$$

$$= (13600 \times 9.8 \times 76 \times 10^{-2}) - (1000 \times 9.8 \times 76 \times 10^{-2})$$

$$= \mathbf{93.845 \times 10^3\ N/m^2}$$

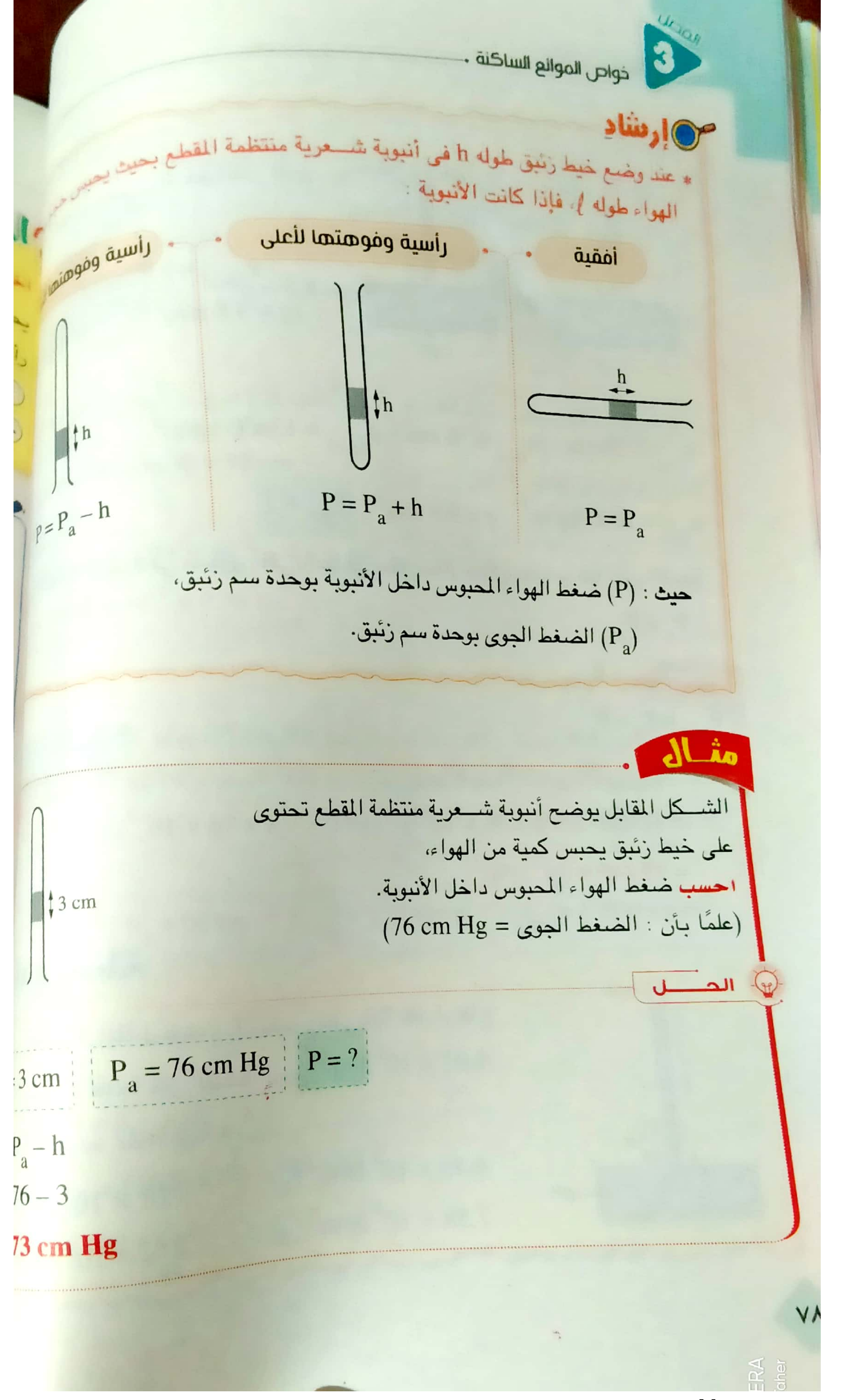
اختبر نفسك



اختر : الشكل المقابل يوضح بارومتر زئبقى فإذا كان ارتفاع عمود الزئبق h عندما كان الضغط الجوى $1.01 \times 10^5\ N/m^2$ ، فإن قيمة الضغط عند النقطة x هى ....

ⓐ $1.01 \times 10^5\ N/m^2$ ⓑ $6.73 \times 10^4\ N/m^2$

ⓒ $2.52 \times 10^4\ N/m^2$ ⓓ $7.58 \times 10^4\ N/m^2$



إرشاد

* عند وضع خيط زئبق طوله h فى أنبوبة شعرية منتظمة المقطع بحيث يحبس عمود من الهواء طوله ℓ فإذا كانت الأنبوبة :

أفقية	رأسية وفوهتها لأعلى	رأسية وفوهتها لأسفل
$P = P_a$	$P = P_a + h$	$P = P_a - h$

حيث : (P) ضغط الهواء المحبوس داخل الأنبوبة بوحدة سم زئبق،

(P_a) الضغط الجوى بوحدة سم زئبق.

مثال

الشكل المقابل يوضح أنبوبة شعرية منتظمة المقطع تحتوى على خيط زئبق يحبس كمية من الهواء،

احسب ضغط الهواء المحبوس داخل الأنبوبة.

(علمًا بأن : الضغط الجوى = 76 cm Hg)

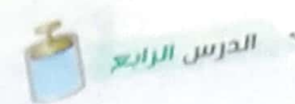
الحل

$P = ?$ | $P_a = 76$ cm Hg | h = 3 cm

$P = P_a - h$

$P = 76 - 3$

P = 73 cm Hg

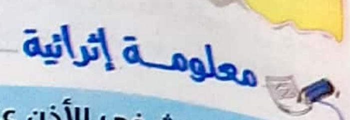


اختبر نفسك

اختر : الشكل المقابل يوضح أنبوبة شعرية تحتوى على خيط زئبق يحبس كمية من الهواء تحت ضغط 75 cm Hg، فإذا وضعت الأنبوبة رأسيًا وفتحتها لأعلى، يصبح ضغط الهواء المحبوس ....

5 cm

(أ) 70 cm Hg
(ب) 75 cm Hg
(جـ) 80 cm Hg
(د) 81 cm Hg



معلومة إثرائية

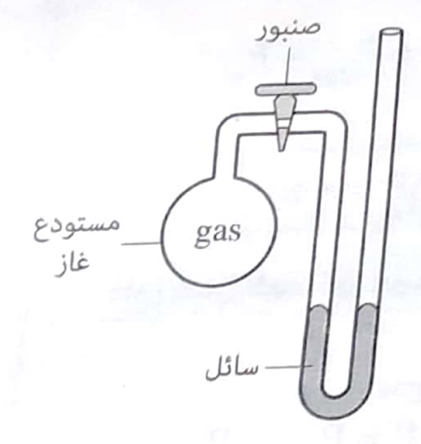
ماذا يحدث فى الأذن عند الارتفاع عن سطح الأرض ؟

* كلما ارتفعنا عن سطح الأرض قل ارتفاع عمود الهواء وبالتالى قل الضغط الجوى، وعند طبلة الأذن يتزن الضغط الخارجى مع الضغط الداخلى للجسم، ولذلك عندما يقل الضغط الخارجى نشعر بتوتر طبلة الأذن إذ أن الضغط الداخلى يدفعها قليلًا للخارج.
* يمكن معادلة هذا الضغط بالتحكم فى كمية الهواء فى قناة استاكيوس بالبلع ومضغ اللبان لتخفيض فرق الضغط على الطبلة.

رابعًا المانومتر

❖ **التركيب :**

أنبوبة زجاجية ذات شعبتين منتظمة المقطع إحدى شعبتيها أطول من الشعبة الأخرى تحتوى على كمية مناسبة من سائل كثافته معلومة «مثل الماء أو الزئبق».



❖ **الأنواع :**

1. مانومتر مائى، يكون السائل المستخدم هو الماء.
2. مانومتر زئبقى، يكون السائل المستخدم هو الزئبق.

❖ **فكرة عمله :**

تساوى الضغط عند جميع النقاط الواقعة فى مستوى أفقى واحد فى باطن سائل ساكن متجانس.

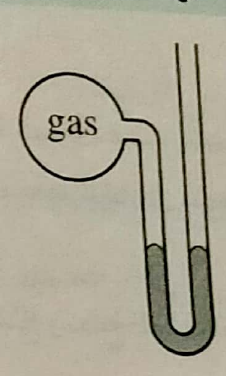
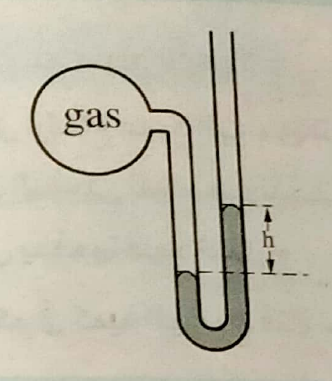
❖ **الاستخدام :**

1. تعيين الفرق بين ضغط غاز محبوس والضغط الجوى.
2. تعيين ضغط غاز محبوس بمعلومية الضغط الجوى.

❖ **كيفية الاستخدام :**

توصل إحدى شعبتى الأنبوبة (الفرع القصير) بمستودع الغاز المراد تعيين ضغطه والـ... الأخرى (الفرع الطويل) تكون معرضة للهواء الجوى،

فإذا كان سطح السائل فى الفرع الخالص :

فى نفس مستوى سطح السائل فى الفرع المتصل بالمستودع	أعلى من سطح السائل فى الفرع المتصل بالمستودع	أدنى من سطح السائل فى الفرع المتصل بالمستودع
		gas h

فـــــإن

$P_{gas} = P_a$	$P_{gas} > P_a$	$P_{gas} < P_a$
$\Delta P = P_{gas} - P_a$	$P_{gas} = P_a + \rho gh$	$P_{gas} = P_a - \rho gh$
	$\Delta P = P_{gas} - P_a$	$\Delta P = P_{gas} - P_a$
$\Delta P = zero$	$\Delta P = \rho gh\ (N/m^2)$	$\Delta P = -\rho gh\ (N/m^2)$

وإذا كان السائل المستخدم هو الزئبق ووحدة قياس الضغط الجوى cm Hg فإن

$P_{gas} = P_a$	$P_{gas} = P_a + h$	$P_{gas} = P_a - h$
$\Delta P = P_{gas} - P_a$	$\Delta P = P_{gas} - P_a$	$\Delta P = P_{gas} - P_a$
$\Delta P = zero$	$\Delta P = +h\ (cm\ Hg)$	$\Delta P = -h\ (cm\ Hg)$

الإشارة السالبة تدل على أن قيمة ضغط الغاز أقل من قيمة الضغط الجوى

ملاحظات

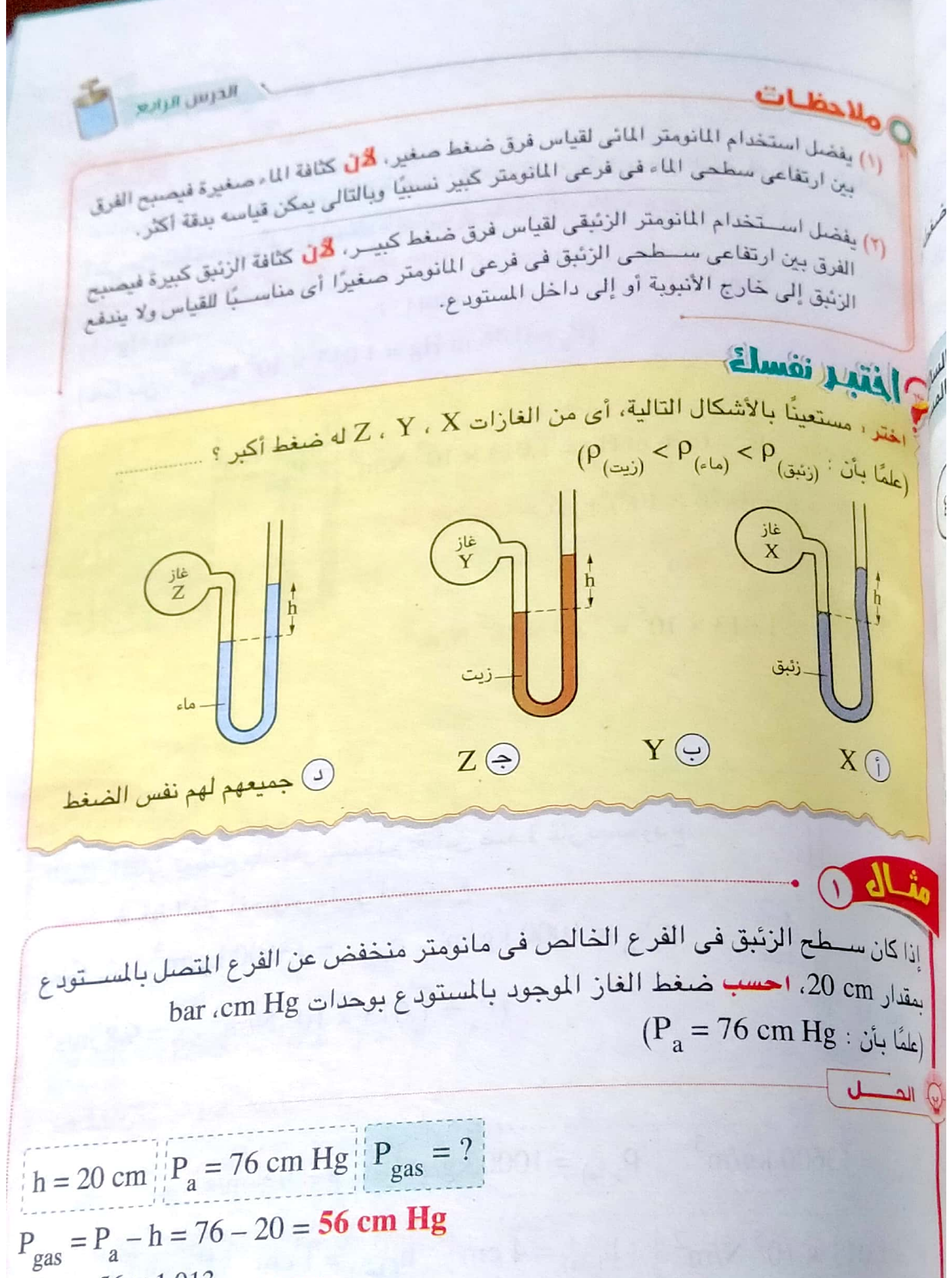
(١) يفضل استخدام المانومتر المائى لقياس فرق ضغط صغير، **لأن** كثافة الماء صغيرة فيصبح الفرق بين ارتفاعى سطحى الماء فى فرعى المانومتر كبير نسبيًا وبالتالى يمكن قياسه بدقة أكثر.

(٢) يفضل استخدام المانومتر الزئبقى لقياس فرق ضغط كبير، **لأن** كثافة الزئبق كبيرة فيصبح الفرق بين ارتفاعى سطحى الزئبق فى فرعى المانومتر صغيرًا أى مناسبًا للقياس ولا يندفع الزئبق إلى خارج الأنبوبة أو إلى داخل المستودع.

اختبر نفسك

اختر : مستعينًا بالأشكال التالية، أى من الغازات X ، Y ، Z له ضغط أكبر ؟ ....

(علمًا بأن : $\rho_{(زئبق)} > \rho_{(ماء)} > \rho_{(زيت)}$)



(أ) X (ب) Y (جـ) Z (د) جميعهم لهم نفس الضغط

مثال ١

إذا كان سطح الزئبق فى الفرع الخالص فى مانومتر منخفض عن الفرع المتصل بالمستودع بمقدار 20 cm، **احسب** ضغط الغاز الموجود بالمستودع بوحدات cm Hg، bar

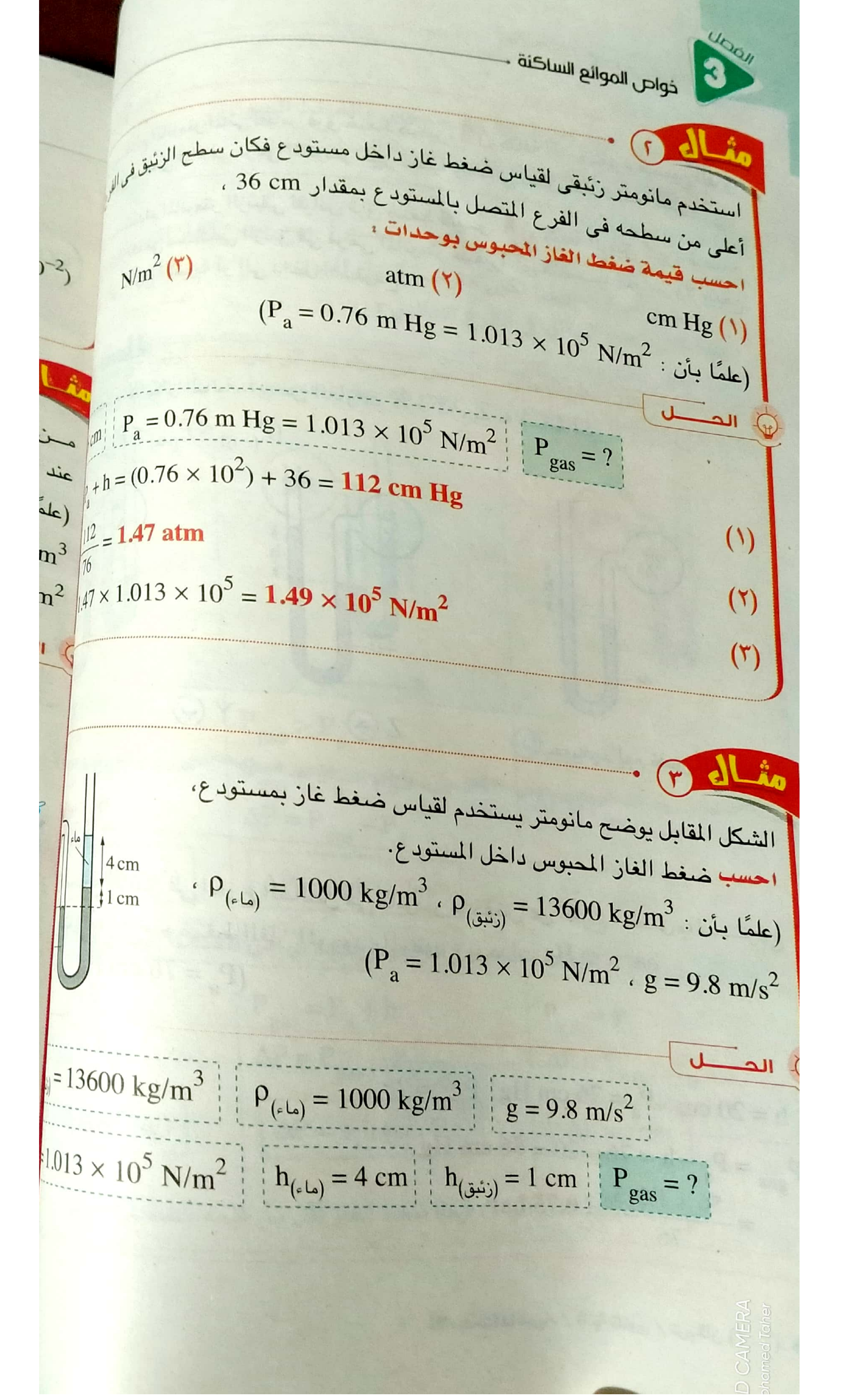
(علمًا بأن : $P_a = 76$ cm Hg)

الحل

$h = 20$ cm | $P_a = 76$ cm Hg | $P_{gas} = ?$

$$P_{gas} = P_a - h = 76 - 20 = \mathbf{56\ cm\ Hg}$$

$$= \frac{56 \times 1.013}{76} = \mathbf{0.75\ bar}$$



مثال ٢

استخدم مانومتر زئبقى لقياس ضغط غاز داخل مستودع فكان سطح الزئبق فى الفرع الحر أعلى من سطحه فى الفرع المتصل بالمستودع بمقدار 36 cm ،

احسب قيمة ضغط الغاز المحبوس بوحدات :

(١) cm Hg (٢) atm (٣) N/m^2

(علمًا بأن : $P_a = 0.76\ m\ Hg = 1.013 \times 10^5\ N/m^2$)

الحل

$P_a = 0.76\ m\ Hg = 1.013 \times 10^5\ N/m^2$ | $P_{gas} = ?$

(١) $P_a + h = (0.76 \times 10^2) + 36 =$ **112 cm Hg**

(٢) $\frac{112}{76} =$ **1.47 atm**

(٣) $1.47 \times 1.013 \times 10^5 =$ **$1.49 \times 10^5\ N/m^2$**

مثال ٣

الشكل المقابل يوضح مانومتر يستخدم لقياس ضغط غاز بمستودع،

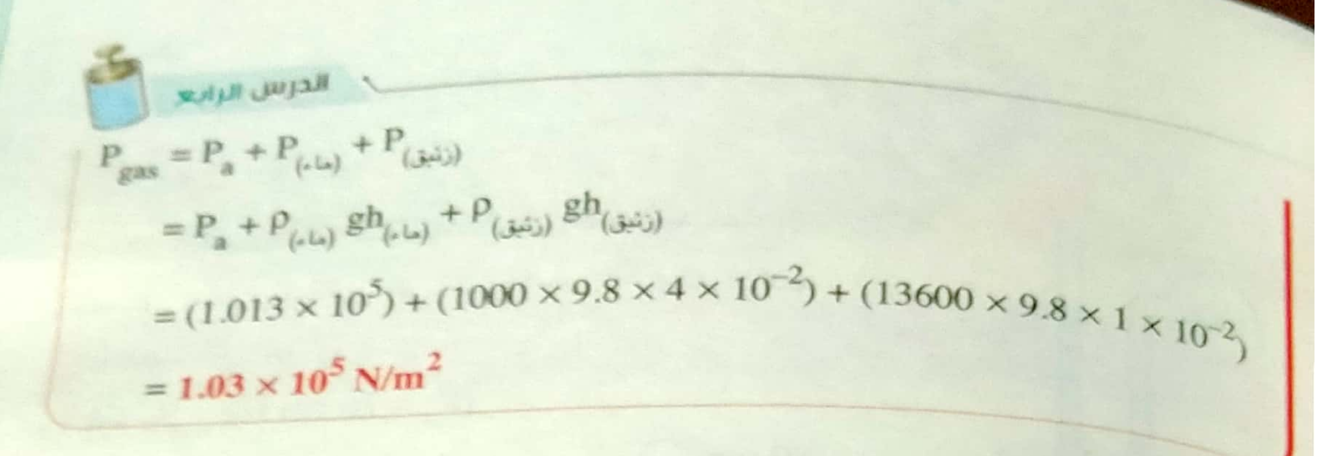
احسب ضغط الغاز المحبوس داخل المستودع.

(علمًا بأن : $\rho_{(زئبق)} = 13600\ kg/m^3$ ، $\rho_{(ماء)} = 1000\ kg/m^3$ ،
$P_a = 1.013 \times 10^5\ N/m^2$ ، $g = 9.8\ m/s^2$)

الحل

$\rho_{(زئبق)} = 13600\ kg/m^3$ | $\rho_{(ماء)} = 1000\ kg/m^3$ | $g = 9.8\ m/s^2$

$P_a = 1.013 \times 10^5\ N/m^2$ | $h_{(ماء)} = 4\ cm$ | $h_{(زئبق)} = 1\ cm$ | $P_{gas} = ?$



$$P_{gas} = P_a + P_{(ماء)} + P_{(زئبق)}$$

$$= P_a + \rho_{(ماء)}\, g h_{(ماء)} + \rho_{(زئبق)}\, g h_{(زئبق)}$$

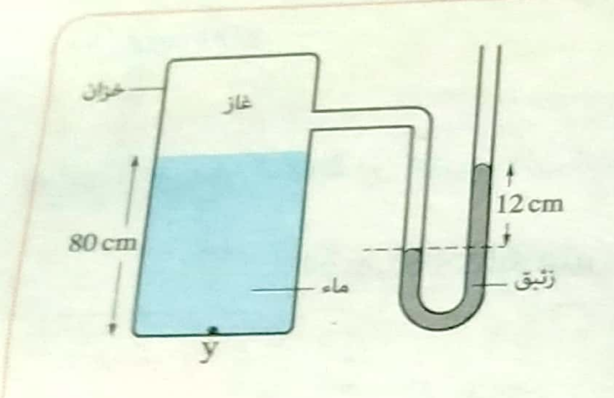
$$= (1.013 \times 10^5) + (1000 \times 9.8 \times 4 \times 10^{-2}) + (13600 \times 9.8 \times 1 \times 10^{-2})$$

$$= \mathbf{1.03 \times 10^5\ N/m^2}$$

مثال ٤

من الشكل المقابل، **احسب** الضغط عند النقطة y

(علمًا بأن: $\rho_{(زئبق)} = 13600\ kg/m^3$ ، $\rho_{(ماء)} = 1000\ kg/m^3$ ، $g = 10\ m/s^2$ ، $P_a = 10^5\ N/m^2$)



الحل

$\rho_{(زئبق)} = 13600\ kg/m^3$	$\rho_{(ماء)} = 1000\ kg/m^3$	$g = 10\ m/s^2$	
$P_a = 10^5\ N/m^2$	$h_{(ماء)} = 80\ cm$	$h_{(زئبق)} = 12\ cm$	$P_y = ?$

وسيلة مساعدة

الضغط عند النقطة y يساوى مجموع ضغط الغاز المحبوس وضغط الماء.

$$P_{gas} = P_a + P_{(زئبق)} = P_a + \rho_{(زئبق)}\, g h_{(زئبق)}$$

$$= 10^5 + (13600 \times 10 \times 12 \times 10^{-2})$$

$$= 116.32 \times 10^3\ N/m^2$$

$$P_y = P_{gas} + P_{(ماء)} = P_{gas} + \rho_{(ماء)}\, g h_{(ماء)}$$

$$= (116.32 \times 10^3) + (1000 \times 10 \times 80 \times 10^{-2})$$

$$= \mathbf{124.32 \times 10^3\ N/m^2}$$



اختبر نفسك

اختر : الشكل المقابل يوضح مانومتر زئبقى متصل بمستودع غازى يحتوى على ثانى أكسيد الكربون، فيكون الضغط داخل المستودع ....

(علمًا بأن : $P_a = 76$ cm Hg)

ⓐ 8 torr
ⓑ 80 torr
ⓒ 800 torr
ⓓ 8000 torr

4 cm

* مما سبق يمكن المقارنة بين الأنبوبة ذات الشعبتين والبارومتر الزئبقى والمانومتر فى جدول كالـ

	الأنبوبة ذات الشعبتين	البارومتر الزئبقى	المـانـومـ
التركيب	أنبوبة على شكل حرف U	أنبوبة طولها حوالى متر مفتوحة من أحد طرفيها تُملأ تمامًا بالزئبق ثم تُنكس رأسيًا فى حوض به كمية مناسبة من الزئبق	أنبوبة زجاجية ذ شعبتين إحداهما تـ توصل بمستودع بـ والأخرى معرضة لـ الجوى
السائل المستخدم	سائلين (أو أكثر) مختلفين	الزئبق	الزئبق أو الماء أو أى سائل مناسـ
الاستخدام	* المقارنة بين كثافتى سائلين. * تعيين كثافة سائل بمعلومية كثافة سائل آخر. * تعيين الكثافة النسبية لسائل.	* قياس الضغط الجوى. * تعيين ارتفاع جبل أو مبنى.	* تعيين الفرق بين ضغـ محبوس والضغط الـ * تعيين ضغط غاز مـ بمعلومية الضغط الـ
فكرة العمل (الأساس العلمى)	تساوى الضغط عند جميع النقاط التى تقع فى مستوى أفقى واحـ فى باطن سائل ساكن متجانس		



الفصل
3
الدرس
الخامس
قاعدة باسكال
فى هذا الدرس سوف نتعرف
1 قــــاعدة باســ
2 المكـــبس الهيــ
3 الفائدة الآلية للمكبس
4 كفــاءة المكبس ا

قاعدة باسكال

* عند وضع سائل فى إناء زجاجى مزود بمكبس أعلاه،

فإن الضغط عند النقطة A على عمق h من سطح السائل يتعين من العلاقة : $P = P_1 + \rho gh$

حيث : (P_1) الضغط عند سطح السائل وهو ناتج عن الضغط الجوى وضغط وزن المكبس،

(ρgh) ضغط عمود السائل فوق النقطة A

* عند وضع ثقل إضافى على المكبس، فإن :

- المكبس لا يتحرك إلى أسفل لعدم قابلية السائل للانضغاط.

- الضغط يزداد بمقدار ΔP ويصبح الضغط عند النقطة A :

$$P = P_1 + \rho gh + \Delta P$$

* إذا تم زيادة الضغط على المكبس إلى حد معين فإن الإناء الزجاجى ينكسر،

أى أن : الضغط المؤثر على المكبس انتقل بتمامه إلى جميع أجزاء السائل وإلى جدران الإناء.

* قام العالم الفرنسى باسكال بصياغة هذه النتيجة كما يلى :

- قاعدة (مبدأ) باسكال :

عندما يؤثر ضغط على سائل محبوس فى إناء فإن ذلك الضغط ينتقل بتمامه إلى جميع أجزاء السائل كما ينتقل إلى جدران الإناء.

ملاحظة

* تخضع السوائل لقاعدة باسكال بينما لا تخضع الغازات لها، **لأن السوائل غير قابلة للانضغاط** فينتقل الضغط المؤثر عليها بتمامه إلى جميع أجزاء السائل أما **الغازات فهى قابلة للانضغاط** لوجود مسافات بينية كبيرة نسبيًا بين جزيئات الغاز.

تطبيقات على قاعدة باسكال

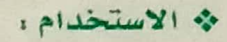
١ المكبس الهيدروليكى.
٢ الفرامل الهيدروليكية للسيارة.
٣ الرافعة الهيدروليكية.
٤ كرسى طبيب الأسنان.
٥ الحفار الهيدروليكى.

وفيما يلى سنتعرض بشيء من التفصيل للمكبس الهيدروليكى.

المكبس الهيدروليكى Hydraulic press

❖ **التركيب :**

أنبوبة موصلة بمكبسين أحدهما صغير مساحة مقطعه a والآخر كبير مساحة مقطعه A ويمتلئ الحيز بين المكبسين بسائل مناسب (السائل الهيدروليكى) كما بالشكل.



❖ **الاستخدام :**

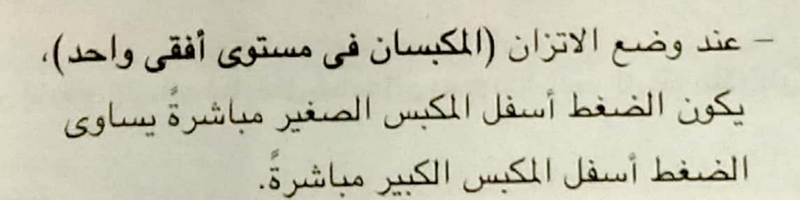
رفع أثقال كبيرة باستخدام قوى صغيرة.

❖ **فكرة عمله :**

عندما يؤثر ضغط على سائل محبوس فى إناء فإن ذلك الضغط ينتقل بتمامه إلى جميع أجزاء السائل كما ينتقل إلى جدران الإناء **(قاعدة باسكال)**.

❖ **شرح عمله :**

- عندما تؤثر قوة (f) على المكبس الصغير ينتج عنها ضغط (P) حيث : $P = \frac{f}{a}$
- يتأثر السائل بنفس الضغط وينتقل بتمامه إلى السطح السفلى للمكبس الكبير فتتولد عليه قوة (F) حيث : $P = \frac{F}{A}$



- عند وضع الاتزان **(المكبسان فى مستوى أفقى واحد)**، يكون الضغط أسفل المكبس الصغير مباشرةً يساوى الضغط أسفل المكبس الكبير مباشرةً.

$$P = \frac{f}{a} = \frac{F}{A} \qquad \therefore \frac{F}{f} = \frac{A}{a}$$

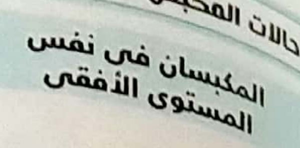
- إذا تسببت القوة f فى تحريك المكبس الصغير مسافة y_1 فإن المكبس الكبير يتأثر بقوة F تسبب تحركه مسافة y_2

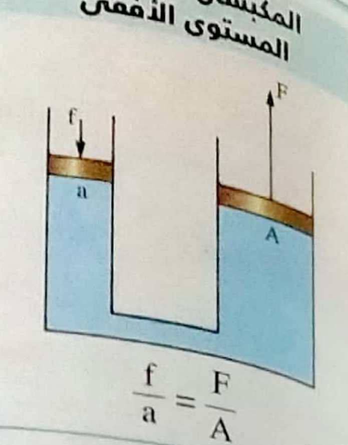
وبتطبيق قانون بقاء الطاقة (فى حالة المكبس الهيدروليكى المثالى) فإن :

الشغل المبذول على المكبس الصغير = الشغل الناتج عند المكبس الكبير.

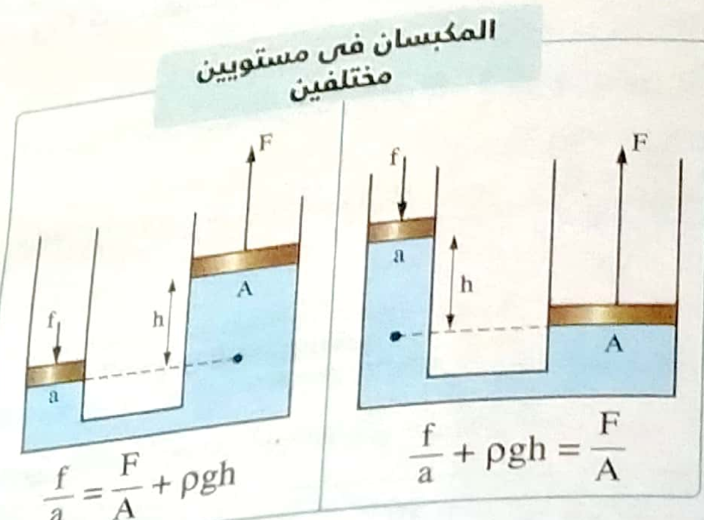
$$\therefore \frac{F}{f} = \frac{y_1}{y_2}$$

حالات المكبس الهيدروليكى عند الاتزان





$$\frac{f}{a} = \frac{F}{A}$$



$$\frac{f}{a} + \rho gh = \frac{F}{A}$$

$$\frac{f}{a} = \frac{F}{A} + \rho gh$$

حيث : (ρ) كثافة السائل ، (h) الفرق بين ارتفاعى المكبسين.

اختبر نفسك

اختر : إذا كانت النسبة بين قطرى مكبسى المكبس الهيدروليكى هى $\frac{5}{1}$، فإن نسبة الضغط المؤثر على المكبس الصغير إلى الضغط الناتج عند المكبس الكبير فى حالة اتزان المكبسين فى مستوى أفقى واحد هى ....

ⓐ $\frac{1}{5}$ ⓑ $\frac{5}{1}$ ⓒ $\frac{1}{1}$ ⓓ $\frac{25}{1}$

الفائدة الآلية للمكبس الهيدروليكى

• يمكن الاستفادة من القوة المتولدة على المكبس الكبير (F) فى كثير من الآلات وتتعين الفائدة الآلية (η) عند اتزان المكبسين من العلاقة :

$$\eta = \frac{A}{a} = \frac{R^2}{r^2} = \frac{y_1}{y_2}$$

حيث : (A) مساحة مقطع المكبس الكبير، (a) مساحة مقطع المكبس الصغير،

(R) نصف قطر المكبس الكبير، (r) نصف قطر المكبس الصغير،

(y_1) الإزاحة التى يتحركها المكبس الصغير،

(y_2) الإزاحة التى يتحركها المكبس الكبير،

وإذا كان المكبسان **في مستوى أفقي واحد عند الاتزان**، تكون :

* التمثيل البياني للعلاقة بين القوتين F ، f عندما يكون المكبسين في حالة اتزان وفي مستوى أفقي واحد :

$$slope = \frac{\Delta F}{\Delta f} = \eta$$

كفاءة المكبس الهيدروليكي

* تتعين كفاءة المكبس الهيدروليكي من العلاقة :

$$\text{الكفاءة} = \frac{\text{الشغل الناتج عند المكبس الكبير}}{\text{الشغل المبذول على المكبس الصغير}} = \frac{Fy_2}{fy_1}$$

ملاحظات

(١) المكبس الهيدروليكي لا يضاعف الطاقة، **لأنه** حسب قانون بقاء الطاقة يكون الشغل المبذول على المكبس الصغير مساويًا للشغل الناتج عند المكبس الكبير بفرض أن المكبس مثالي.

(٢) الفائدة الآلية للمكبس الهيدروليكي دائمًا أكبر من الواحد الصحيح حيث :

$\because \eta = \frac{A}{a}$, $A > a$

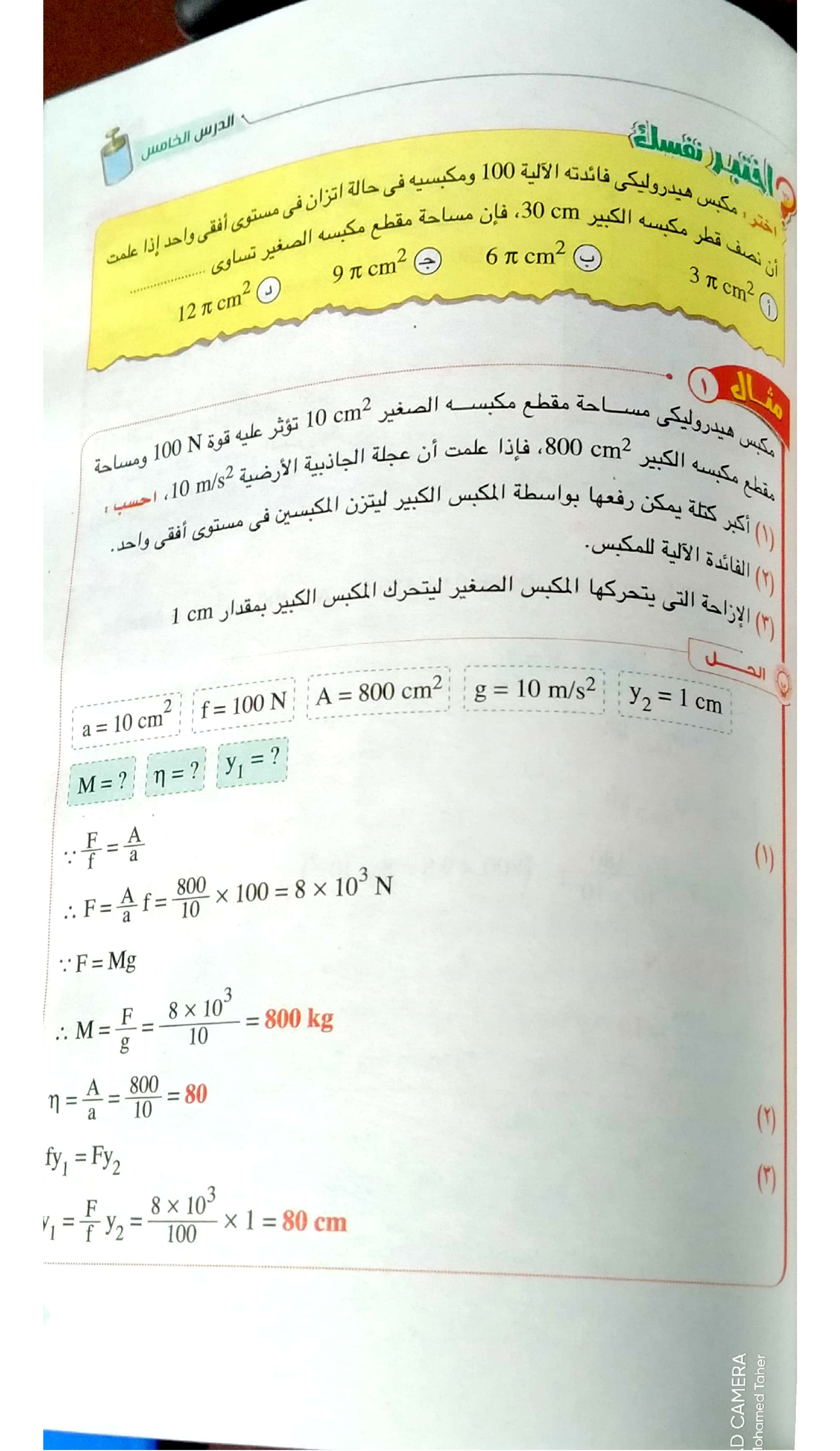
$\therefore \eta > 1$

(٣) لا تصل كفاءة أي مكبس هيدروليكي إلى 100%.

ويرجع ذلك إلى :

١- وجود قوى احتكاك بين كل من المكبسين وجدار الأنبوبة.

٢- وجود فقاعات غازية في السائل الهيدروليكي تستهلك شغلًا لتقليل حجمها.



اختبر نفسك

اختر : مكبس هيدروليكي فائدته الآلية 100 ومكبسيه في حالة اتزان في مستوى أفقي واحد إذا علمت أن نصف قطر مكبسه الكبير 30 cm، فإن مساحة مقطع مكبسه الصغير تساوى ....

(أ) $3\pi\ cm^2$ (ب) $6\pi\ cm^2$ (جـ) $9\pi\ cm^2$ (د) $12\pi\ cm^2$

مثال ١

مكبس هيدروليكي مساحة مقطع مكبسه الصغير $10\ cm^2$ تؤثر عليه قوة 100 N ومساحة مقطع مكبسه الكبير $800\ cm^2$، فإذا علمت أن عجلة الجاذبية الأرضية $10\ m/s^2$، احسب :

(١) أكبر كتلة يمكن رفعها بواسطة المكبس الكبير ليتزن المكبسين في مستوى أفقي واحد.

(٢) الفائدة الآلية للمكبس.

(٣) الإزاحة التي يتحركها المكبس الصغير ليتحرك المكبس الكبير بمقدار 1 cm

الحل

$y_2 = 1\ cm$ | $g = 10\ m/s^2$ | $A = 800\ cm^2$ | $f = 100\ N$ | $a = 10\ cm^2$

$y_1 = ?$ | $\eta = ?$ | $M = ?$

(١)

$$\because \frac{F}{f} = \frac{A}{a}$$

$$\therefore F = \frac{A}{a} f = \frac{800}{10} \times 100 = 8 \times 10^3\ N$$

$$\because F = Mg$$

$$\therefore M = \frac{F}{g} = \frac{8 \times 10^3}{10} = 800\ kg$$

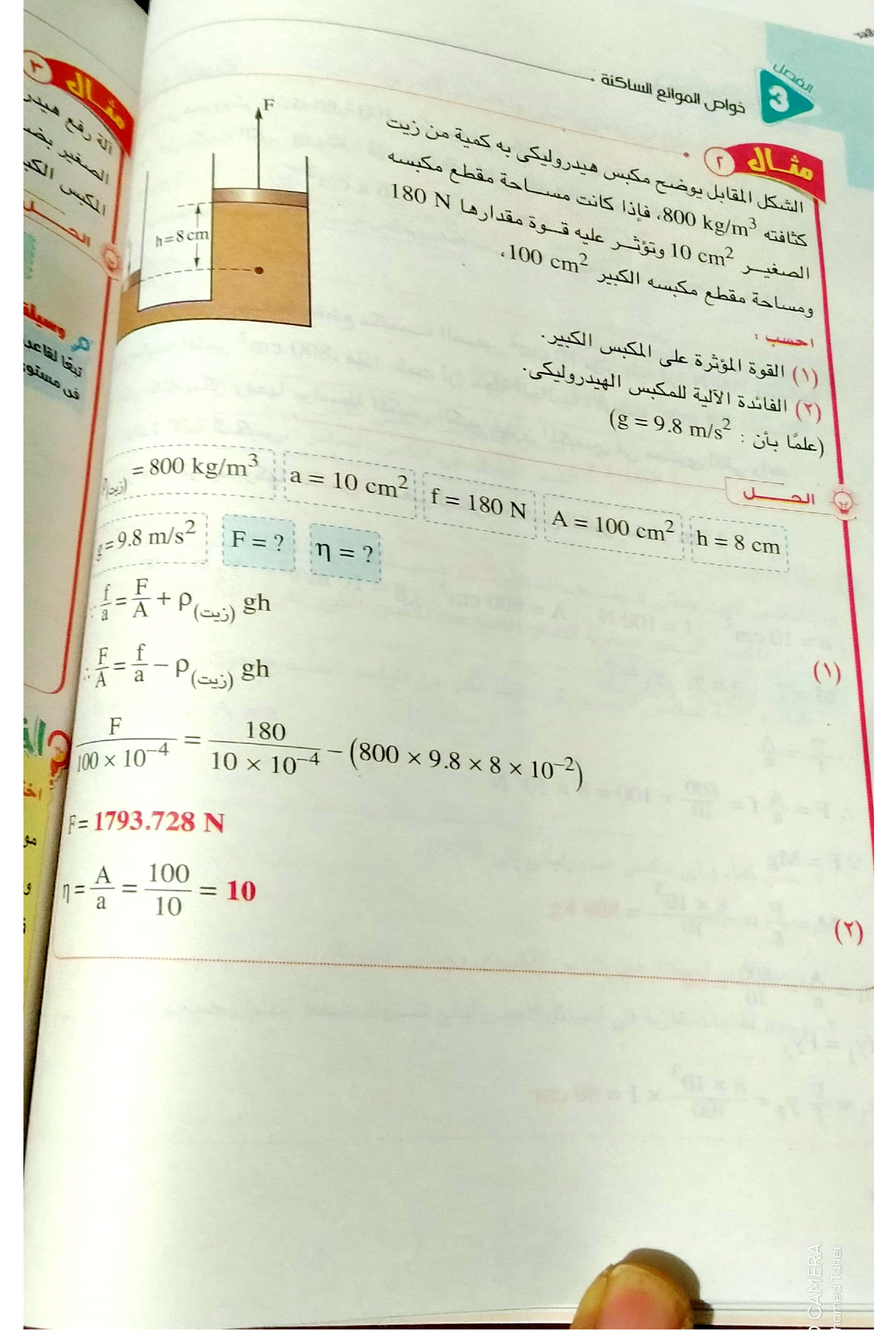
(٢)

$$\eta = \frac{A}{a} = \frac{800}{10} = 80$$

(٣)

$$f y_1 = F y_2$$

$$y_1 = \frac{F}{f} y_2 = \frac{8 \times 10^3}{100} \times 1 = 80\ cm$$



مثال ٢

الشكل المقابل يوضح مكبس هيدروليكى به كمية من زيت كثافته $800\ kg/m^3$، فإذا كانت مساحة مقطع مكبسه الصغير $10\ cm^2$ وتؤثر عليه قوة مقدارها $180\ N$ ومساحة مقطع مكبسه الكبير $100\ cm^2$،

احسب :

(١) القوة المؤثرة على المكبس الكبير.

(٢) الفائدة الآلية للمكبس الهيدروليكى.

(علمًا بأن : $g = 9.8\ m/s^2$)

الحل

$\rho_{(زيت)} = 800\ kg/m^3$ | $a = 10\ cm^2$ | $f = 180\ N$ | $A = 100\ cm^2$ | $h = 8\ cm$

$g = 9.8\ m/s^2$ | $F = ?$ | $\eta = ?$

(١)

$$\because \frac{f}{a} = \frac{F}{A} + \rho_{(زيت)}\, gh$$

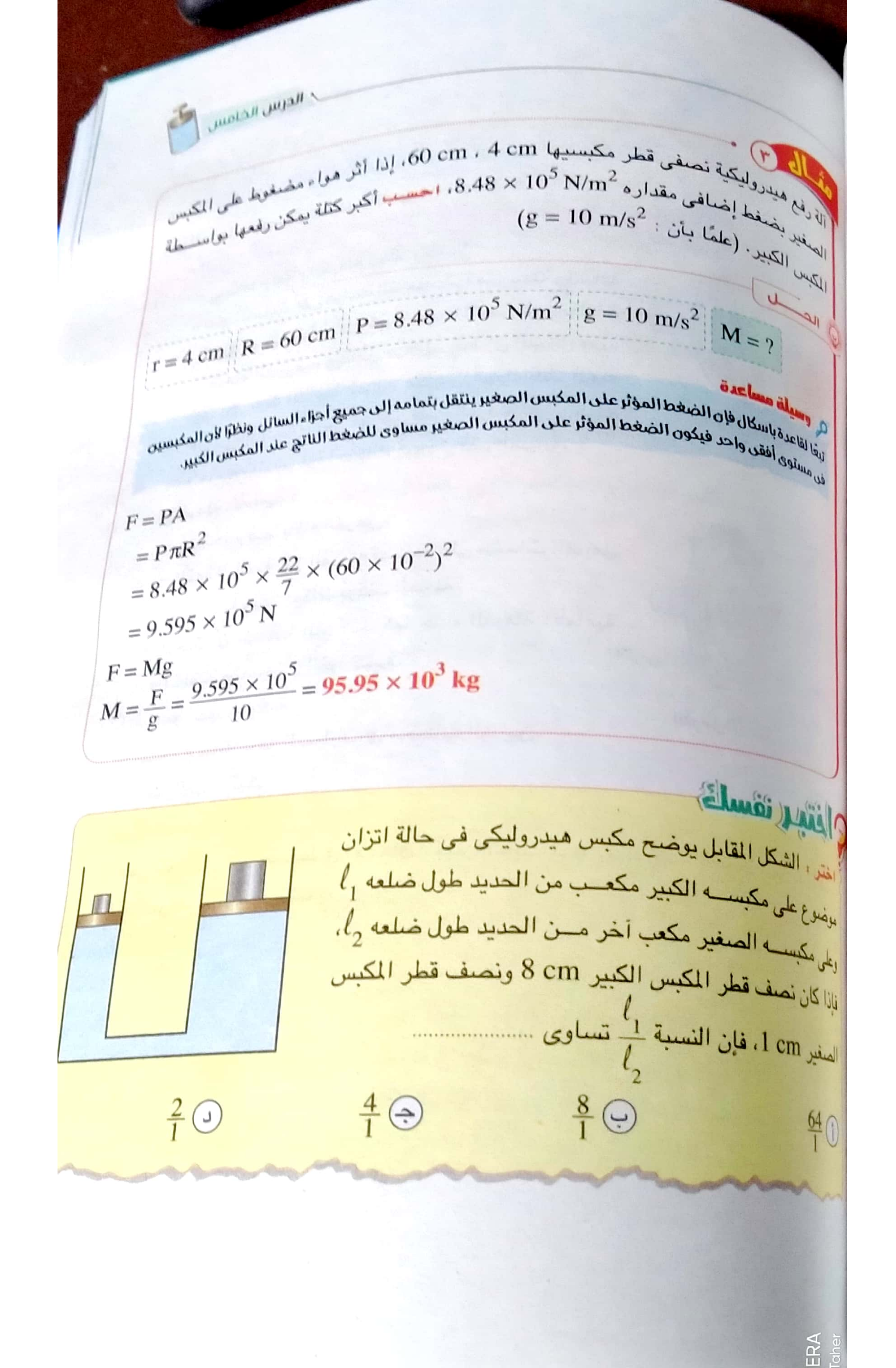
$$\therefore \frac{F}{A} = \frac{f}{a} - \rho_{(زيت)}\, gh$$

$$\frac{F}{100 \times 10^{-4}} = \frac{180}{10 \times 10^{-4}} - (800 \times 9.8 \times 8 \times 10^{-2})$$

$F =$ **1793.728 N**

(٢)

$$\eta = \frac{A}{a} = \frac{100}{10} = \mathbf{10}$$



مثال ٣

آلة رفع هيدروليكية نصفى قطر مكبسيها 4 cm ، 60 cm، إذا أثر هواء مضغوط على المكبس الصغير بضغط إضافى مقداره $8.48 \times 10^5\ N/m^2$، **احسب** أكبر كتلة يمكن رفعها بواسطة المكبس الكبير. (علمًا بأن : $g = 10\ m/s^2$)

الحل

$M = ?$	$g = 10\ m/s^2$	$P = 8.48 \times 10^5\ N/m^2$	$R = 60\ cm$	$r = 4\ cm$

وسيلة مساعدة

تبعًا لقاعدة باسكال فإن الضغط المؤثر على المكبس الصغير ينتقل بتمامه إلى جميع أجزاء السائل ونظرًا لأن المكبسين فى مستوى أفقى واحد فيكون الضغط المؤثر على المكبس الصغير مساوى للضغط الناتج عند المكبس الكبير.

$$F = PA$$
$$= P\pi R^2$$
$$= 8.48 \times 10^5 \times \frac{22}{7} \times (60 \times 10^{-2})^2$$
$$= 9.595 \times 10^5\ N$$

$$F = Mg$$
$$M = \frac{F}{g} = \frac{9.595 \times 10^5}{10} = \mathbf{95.95 \times 10^3\ kg}$$

اختبر نفسك

اختر : الشكل المقابل يوضح مكبس هيدروليكى فى حالة اتزان موضوع على مكبسه الكبير مكعب من الحديد طول ضلعه ℓ_1 وعلى مكبسه الصغير مكعب آخر من الحديد طول ضلعه ℓ_2، فإذا كان نصف قطر المكبس الكبير 8 cm ونصف قطر المكبس الصغير 1 cm، فإن النسبة $\frac{\ell_1}{\ell_2}$ تساوى ....

أ) $\frac{64}{1}$ ب) $\frac{8}{1}$ جـ) $\frac{4}{1}$ د) $\frac{2}{1}$

معلومـــة إثرائية

تطبيقات على قاعدة باسكال

(١) الفرامل الهيدروليكية للسيارة، يوجد منها نوعان :

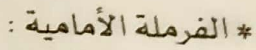
* الفرامل الخلفية :

– يستخدم نظام الفرملة سائلًا وسيطًا.

– عند الضغط على دواسة الفرملة بقوة متوسطة ولمسافة كبيرة نسبيًا تنشأ قوة كبيرة على المكبس فى أسطوانة الفرملة العمومية وينتقل هذا الضغط إلى السائل ومنه إلى باقى خط الفرملة ثم إلى مكابس أسطوانات فرملة العجل إلى الخارج ومن ثم على حذاء الفرملة ثم إلى جسم الفرملة، فتنشأ قوة احتكاك كبيرة تُوقف السيارة.

حذاء الفرامل

الفرامل الخلفية

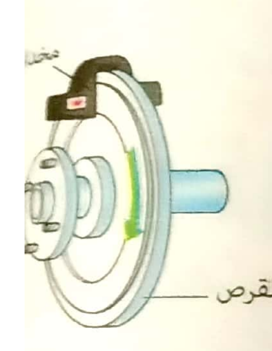


* الفرملة الأمامية :

– يُستخدم فيها نظام القرص.

– القوة الناشئة عن الفرملة تضغط على مخدات الفرامل مما ينشأ عنه احتكاك يُوقف العجلة.

* يلاحظ أن المسافة التى يتحركها حذاء الفرملة الأمامية والخلفية صغيرة لأن القوة كبيرة.



الفرامل الأمامية

(٢) الرافعة الهيدروليكية :

تستخدم سائلًا لرفع السيارات فى محطات البنزين.

(٣) الحفار الهيدروليكى.

(٤) بدلة الغطس :

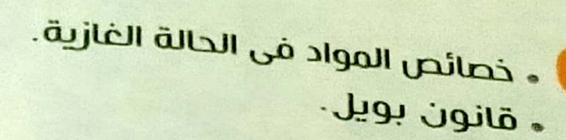
تحمى الغواص من الضغط فى الأعماق الكبيرة، حيث تملأ بهواء تحت الضغط ال... الغواص من الضغط الشديد.



Scanned by CamScanner

الفصل 5

قوانين الغازات



الدرس الأول
- خصائص المواد فى الحالة الغازية.
- قانون بويل.

الدرس الثانى قانون شارل.

الدرس الثالث
- قانون الضغط.
- القانون العام للغازات.

مخرجات التعلم

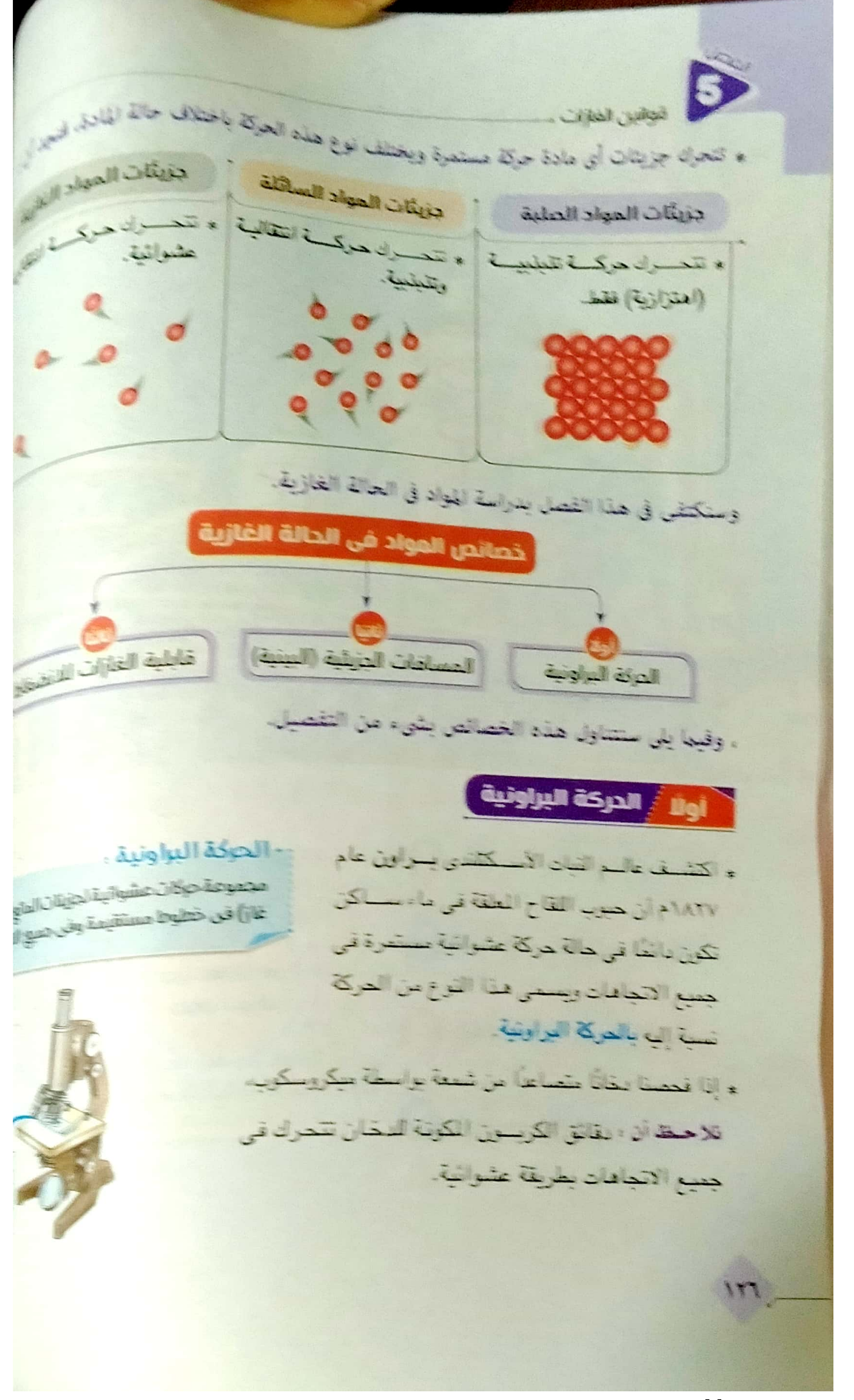
★ فى نهاية هذا الفصل ينبغى أن يكون الطالب قادرًا على أن :

- يفسر الحركة البراونية لجزيئات الغاز.
- يثبت بالتجربة أن الغازات تحتوى على مسافات جزيئية كبيرة نسبيًا.
- يثبت بالتجربة قابلية الغازات للانضغاط بسهولة.
- يتعرف قانون بويل، قانون شارل، قانون الضغط، القانون العام للغازات.
- يجرى تجارب لإثبات قوانين الغازات.
- يتعرف معامل التمدد الحجمى لغاز عند ثبوت الضغط ومعامل الزيادة فى ضغط غاز عند ثبوت الحجم.
- يستنتج القانون العام للغازات.
- يكتسب مهارة حل المسائل على القوانين الواردة فى هذا الفصل.
- يستخدم التمثيل البيانى لاستنتاج الكميات الفيزيائية الخاصة بقوانين الغازات.

اختبار 2 على الفصل الخامس



5
الدرس الأول
• خصائص المواد فى الحالة الغازية
• قانون بويل
فى هذا الدرس سوف نتعرف
1 الحركة البراونية
2 المسافات الجزيئية (البينية)
3 قابلية الغازات للانضغاط
4 قانون بويل



* تتحرك جزيئات أي مادة حركة مستمرة ويختلف نوع هذه الحركة باختلاف حالة المادة،

جزيئات المواد الصلبة	جزيئات المواد السائلة	جزيئات المواد الغازية
* تتحرك حركة تذبذبية (اهتزازية) فقط.	* تتحرك حركة انتقالية وتذبذبية.	* تتحرك حركة ... عشوائية.

وسنكتفي في هذا الفصل بدراسة المواد في الحالة الغازية.

خصائص المواد في الحالة الغازية

أولاً: الحركة البراونية

ثانياً: المسافات الجزيئية (البينية)

ثالثاً: قابلية الغازات للانضغاط

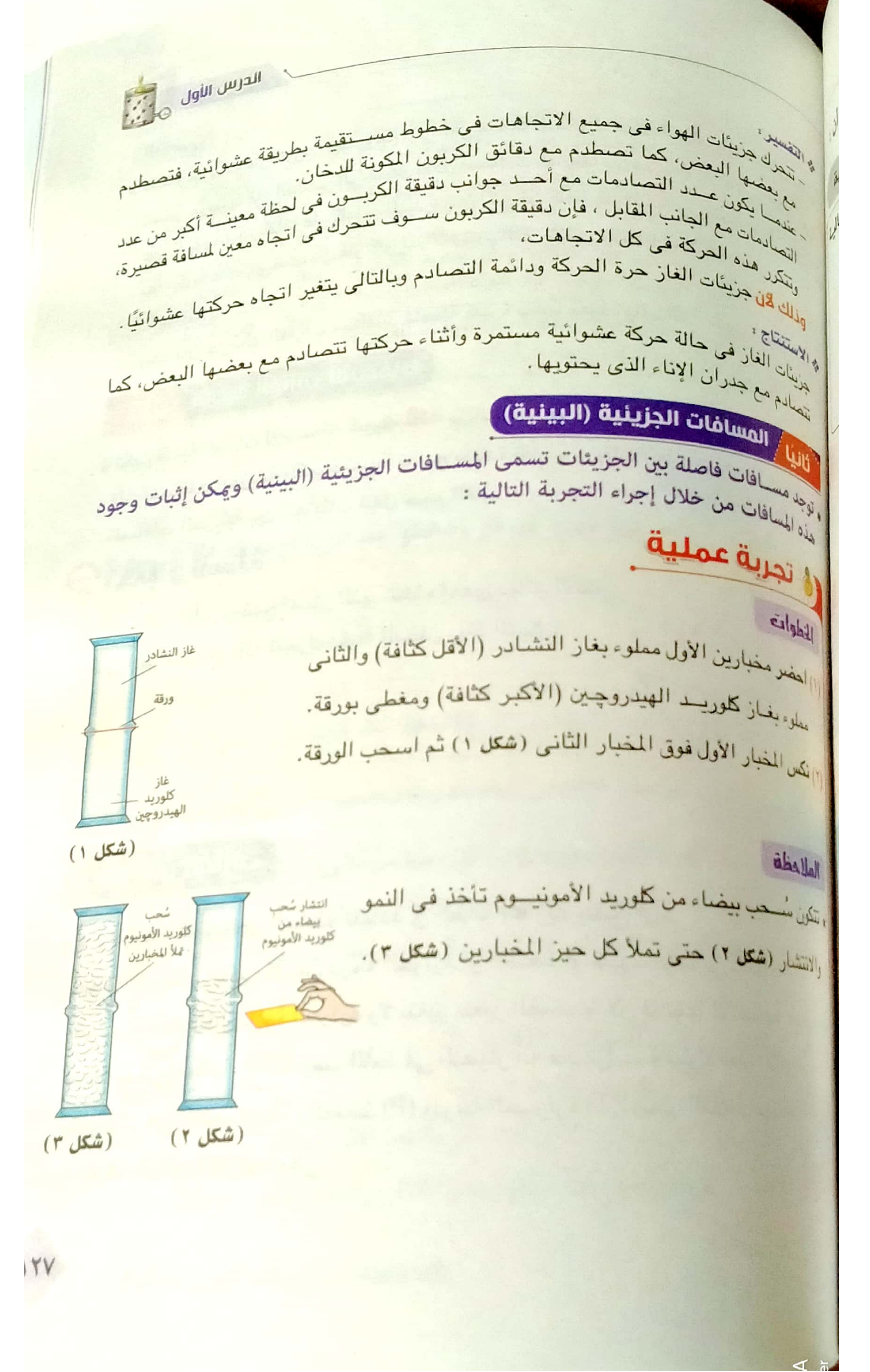
* وفيما يلي سنتناول هذه الخصائص بشيء من التفصيل.

أولاً الحركة البراونية

* اكتشف عالم النبات الأسكتلندي براون عام ١٨٢٧م أن حبوب اللقاح المعلقة في ماء ساكن تكون دائمًا في حالة حركة عشوائية مستمرة في جميع الاتجاهات ويسمى هذا النوع من الحركة نسبة إليه بالحركة البراونية.

- الحركة البراونية :
مجموعة حركات عشوائية لجزيئات المادة (... غاز) في خطوط مستقيمة وفي جميع ...

* إذا فحصنا دخانًا متصاعدًا من شمعة بواسطة ميكروسكوب.
نلاحظ أن : دقائق الكربون المكونة للدخان تتحرك في جميع الاتجاهات بطريقة عشوائية.



* **التفسير:**
- تتحرك جزيئات الهواء فى جميع الاتجاهات فى خطوط مستقيمة بطريقة عشوائية، فتصطدم مع بعضها البعض، كما تصطدم مع دقائق الكربون المكونة للدخان.
- عندما يكون عدد التصادمات مع أحد جوانب دقيقة الكربون فى لحظة معينة أكبر من عدد التصادمات مع الجانب المقابل، فإن دقيقة الكربون سوف تتحرك فى اتجاه معين لمسافة قصيرة، وتتكرر هذه الحركة فى كل الاتجاهات.

وذلك لأن جزيئات الغاز حرة الحركة ودائمة التصادم وبالتالى يتغير اتجاه حركتها عشوائيًا.

* **الاستنتاج:**
جزيئات الغاز فى حالة حركة عشوائية مستمرة وأثناء حركتها تتصادم مع بعضها البعض، كما تتصادم مع جدران الإناء الذى يحتويها.

ثانيًا المسافات الجزيئية (البينية)

• توجد مسافات فاصلة بين الجزيئات تسمى **المسافات الجزيئية (البينية)** ويمكن إثبات وجود هذه المسافات من خلال إجراء التجربة التالية:

تجربة عملية

الخطوات

(١) احضر مخبارين الأول مملوء بغاز النشادر (الأقل كثافة) والثانى مملوء بغاز كلوريد الهيدروچين (الأكبر كثافة) ومغطى بورقة.

(٢) نكس المخبار الأول فوق المخبار الثانى (شكل ١) ثم اسحب الورقة.

(شكل ١)

الملاحظة

• تكون سُحب بيضاء من كلوريد الأمونيوم تأخذ فى النمو والانتشار (شكل ٢) حتى تملأ كل حيز المخبارين (شكل ٣).

(شكل ٢) (شكل ٣)

التفسير

* تنتشر جزيئات غاز كلوريد الهيدروچين إلى أعلى متخللة المسافات الفاصلة بين جزيئات النشادر، و
تنتشر جزيئات غاز النشادر إلى أسفل خلال المسافات الفاصلة بين جزيئات غاز كلوريد الهيدروچين
على الرغم من أن كثافة غاز كلوريد الهيدروچين أكبر من كثافة غاز النشادر، وتتحد جزيئات الغازين
معًا مكونة سُحب بيضاء من غاز كلوريد الأمونيوم الذى تنتشر جزيئاته لتملأ المخبارين.

الاستنتاج

* توجد بين جزيئات الغازات مسافات فاصلة كبيرة نسبيًا تعرف بالمسافات الجزيئية (البينية).

ثالثًا قابلية الغازات للانضغاط

* تكون قابلية الغازات للانضغاط كبيرة، **لأنه** بزيادة الضغط المؤثر على كمية معينة من غاز محبوس
فإن المسافات الجزيئية الكبيرة نسبيًا تسمح بزيادة تقارب جزيئات الغاز من بعضها وبالتالى تقل
المسافات الجزيئية بين الجزيئات فيقل حجم الغاز.

اختبر نفسك

الشـــكل المقابل يوضح المسار الذى تتخذه إحدى دقائق الدخان
فى الهواء، **وضح** لماذا تتحرك دقيقة الدخان بهذا الشكل.

....

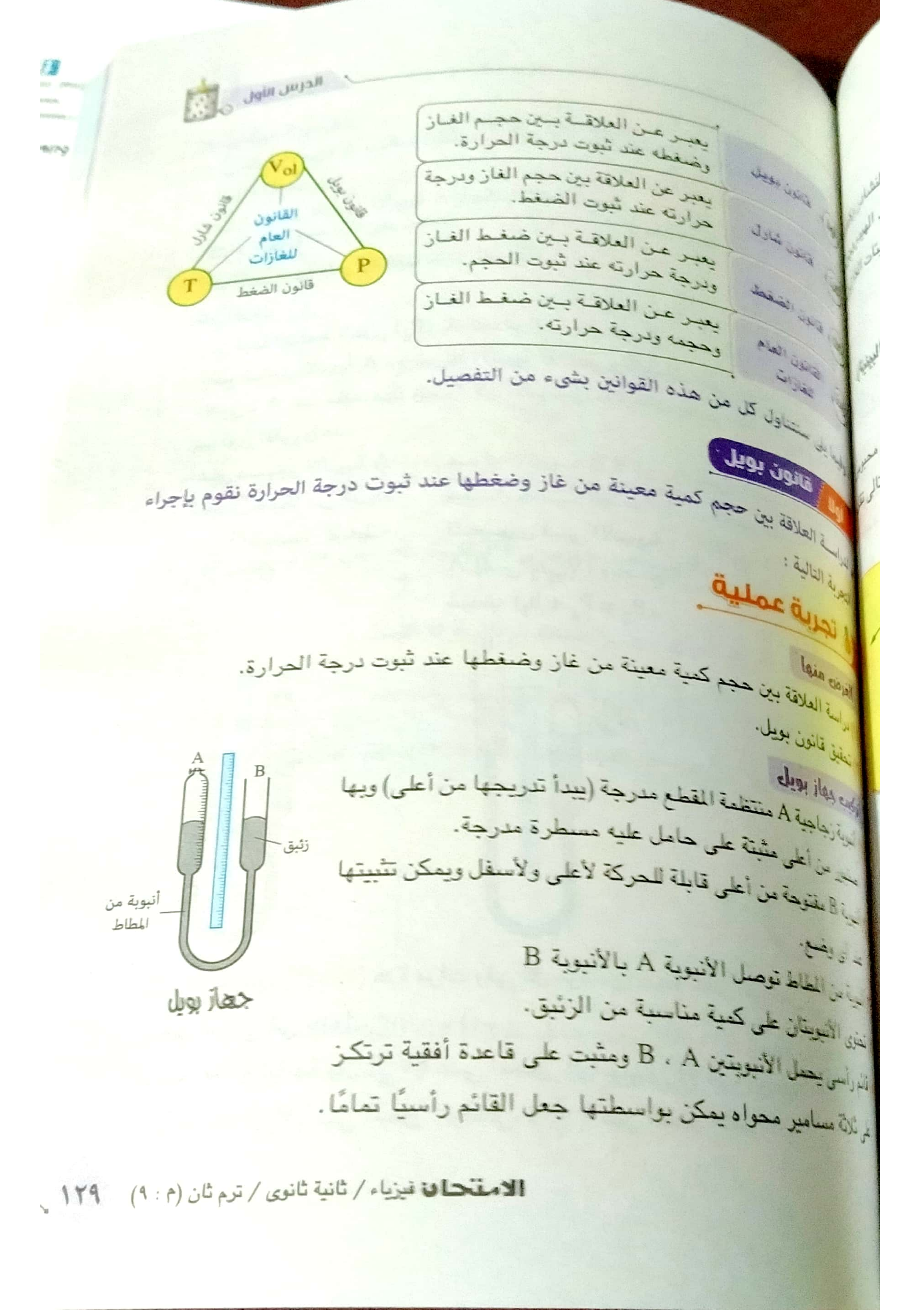
....

....

قوانين الغازات

من دراستنا للخصائص السابقة للمادة فى الحالة الغازية يتضح أن :

حجم الغاز يتغير بتغير كل من درجة الحرارة أو الضغط أو كليهما بينما فى الجوامد والسـوائل
تغيــر الحجم بتغير درجة الحرارة ولا يتغير بتغير الضغــط لأن قابليتها للانضغاط صغيرة جدًا
درجة يمكن إهمالها، **لذلك** يجب الأخذ فى الاعتبار أنه عند دراســة سلوك الغاز المثالى توجد ثلاثة
متغيــرات هى الحجم (V_{ol}) والضغط (P) ودرجة الحــرارة (T)، وتمثل العلاقات بين هذه المتغيرات
ما يعرف **بقوانين الغازات، وهى :**



قانون بويل	يعبر عن العلاقة بين حجم الغاز وضغطه عند ثبوت درجة الحرارة.
قانون شارل	يعبر عن العلاقة بين حجم الغاز ودرجة حرارته عند ثبوت الضغط.
قانون الضغط	يعبر عن العلاقة بين ضغط الغاز ودرجة حرارته عند ثبوت الحجم.
القانون العام للغازات	يعبر عن العلاقة بين ضغط الغاز وحجمه ودرجة حرارته.

وفيما يلي سنتناول كل من هذه القوانين بشيء من التفصيل.

أولاً قانون بويل

لدراسة العلاقة بين حجم كمية معينة من غاز وضغطها عند ثبوت درجة الحرارة نقوم بإجراء التجربة التالية :

تجربة عملية

الغرض منها

- دراسة العلاقة بين حجم كمية معينة من غاز وضغطها عند ثبوت درجة الحرارة.
- تحقيق قانون بويل.

تركيب جهاز بويل

- أنبوبة زجاجية A منتظمة المقطع مدرجة (يبدأ تدريجها من أعلى) وبها صنبور من أعلى مثبتة على حامل عليه مسطرة مدرجة.
- أنبوبة B مفتوحة من أعلى قابلة للحركة لأعلى ولأسفل ويمكن تثبيتها عند أي وضع.
- أنبوبة من المطاط توصل الأنبوبة A بالأنبوبة B
- تحتوي الأنبوبتان على كمية مناسبة من الزئبق.
- قائم رأسي يحمل الأنبوبتين A ، B ومثبت على قاعدة أفقية ترتكز على ثلاثة مسامير محواه يمكن بواسطتها جعل القائم رأسيًا تمامًا.

جهاز بويل

احتياطات التجربة

(١) أن تكون الأنبوبة A منتظمة المقطع، **حتى** يكون طول عمود الهواء المحبوس مقياسًا ل... الهواء المحبوس.

(٢) أن يتم إغلاق صنبور الأنبوبة A بإحكام أثناء التجربة، **حتى** لا تتغير كتلة الغاز المح... أثناء التجربة.

(٣) أن تكون درجة الحرارة ثابتة طوال التجربة.

الخطوات

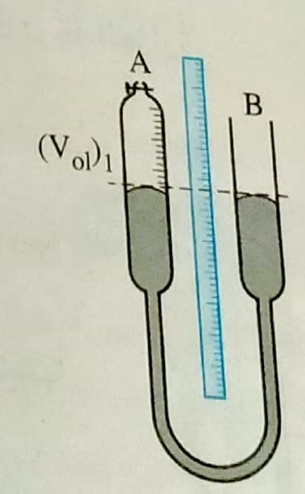
(١) **عيِّن** قيمة الضغط الجوى (P_a) باستخدام البارومتر الزئبقى بوحدة cm Hg

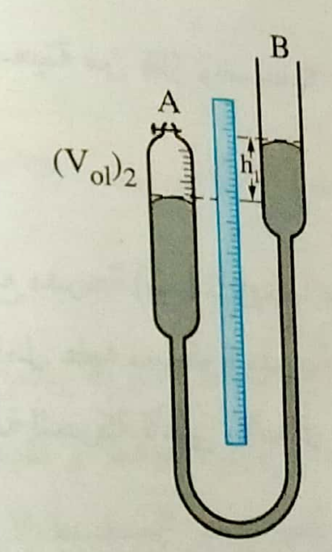
(٢) **افتح** صنبور الأنبوبة A مع تحريك الأنبوبة B لأعلى ولأسفل حتى يصبح سطح الزئ... الأنبوبة A عند منتصفها ونظرًا لأن الأنبوبتين مفتوحتين يكون سطحا الزئبق فيهم... مستوى أفقى واحد.

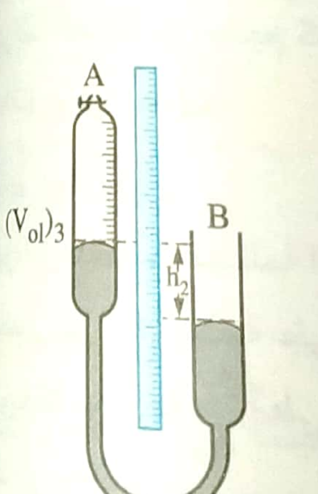
(٣) **اغلق** صنبور الأنبوبة A لتحبس حجمًا من الهواء $(V_{ol})_1$ ويكون ضغطه $(P_1 = P_a)$.

(٤) **حرك** الأنبوبة B لأعلى فيقل حجم الهواء المحبوس فى الأنبوبة A إلى $(V_{ol})_2$ ويصبح ضغطه $(P_2 = P_a + h_1)$.

(٥) **حرك** الأنبوبة B لأسفل ف... حجم الهواء المحبوس... الأنبوبة A إلى $(V_{ol})_3$ ويص... ضغطه $(P_3 = P_a - h_2)$.





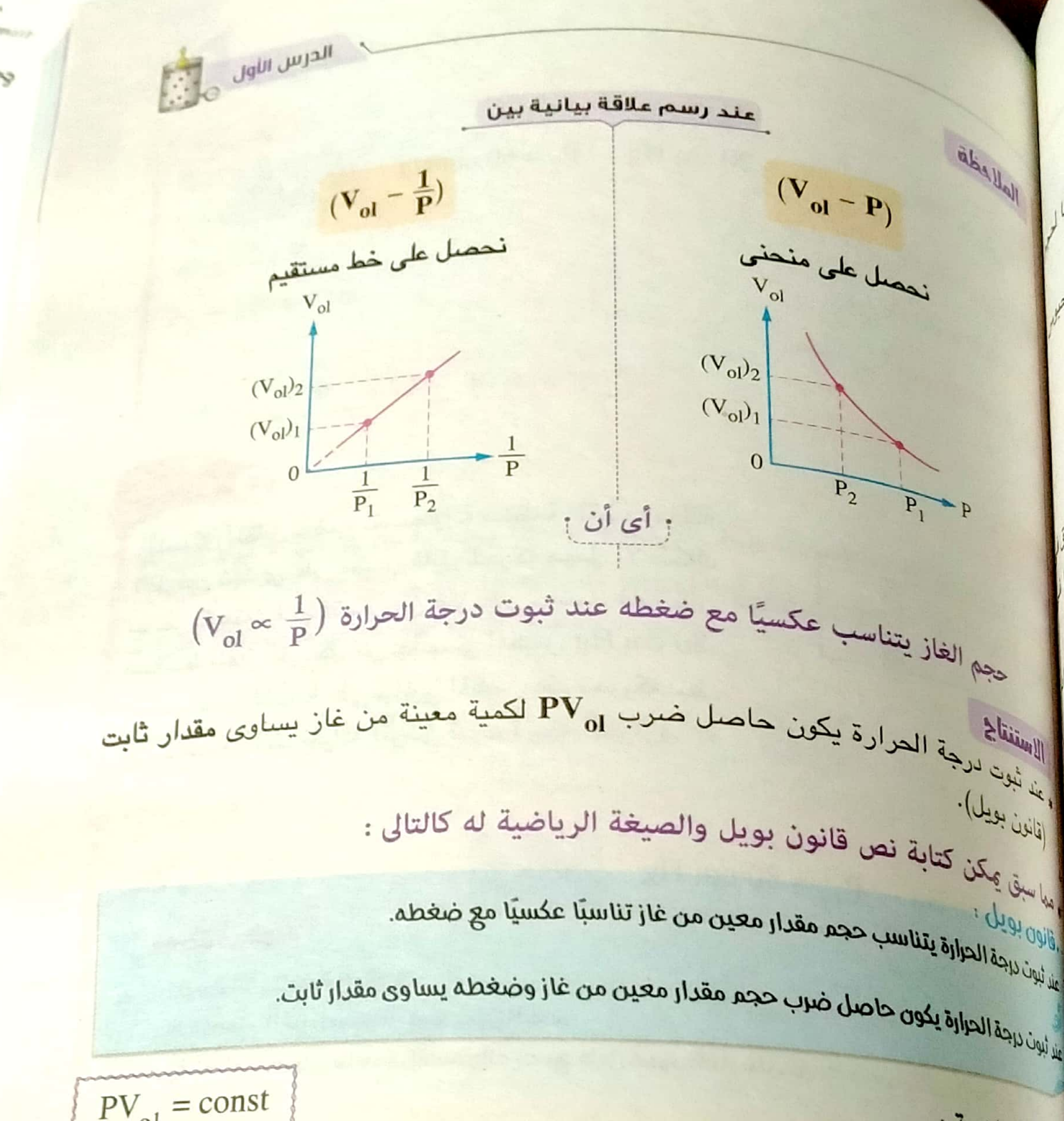


(٦) **كرر** الخطوتين (٤)، (٥) عدة مرات وفى كل مرة عيِّن حجم الغاز المحبوس (V_{ol}) وضغطه (... ودوِّن النتائج فى جدول.

(٧) **ارسم** علاقة بيانية بين (V_{ol}) على المحور الرأسى، (P) على المحور الأفقى وكذلك العلا... البيانية بين (V_{ol}) على المحور الرأسى، $\left(\frac{1}{P}\right)$ على المحور الأفقى.

الملاحظة

عند رسم علاقة بيانية بين



أى أن :

حجم الغاز يتناسب عكسيًا مع ضغطه عند ثبوت درجة الحرارة $\left(V_{ol} \propto \frac{1}{P}\right)$

الاستنتاج

، عند ثبوت درجة الحرارة يكون حاصل ضرب PV_{ol} لكمية معينة من غاز يساوى مقدار ثابت (قانون بويل).

، مما سبق يمكن كتابة نص قانون بويل والصيغة الرياضية له كالتالى :

، قانون بويل :

عند ثبوت درجة الحرارة يتناسب حجم مقدار معين من غاز تناسبًا عكسيًا مع ضغطه.

عند ثبوت درجة الحرارة يكون حاصل ضرب حجم مقدار معين من غاز وضغطه يساوى مقدار ثابت.

الصيغة الرياضية :

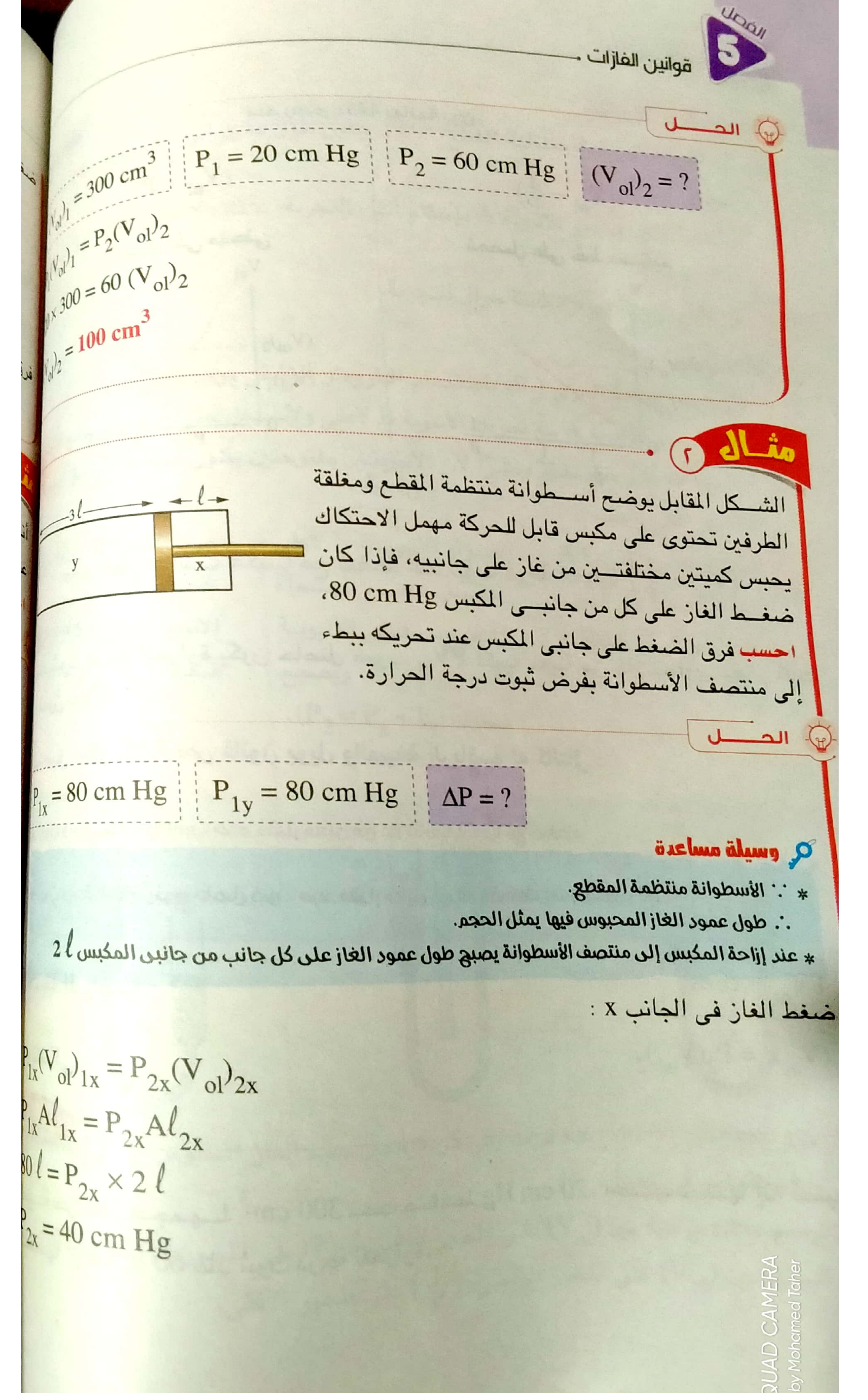
$$PV_{ol} = const$$

وبالتالى :

$$P_1(V_{ol})_1 = P_2(V_{ol})_2$$

ال ①

ـة من غاز حجمها $300\ cm^3$ تحت ضغط $20\ cm\ Hg$، **احسب** حجمها إذا أصبح ـطها $60\ cm\ Hg$ عند ثبوت درجة الحرارة.



الحـــل

$(V_{ol})_1 = 300\ cm^3$ | $P_1 = 20\ cm\ Hg$ | $P_2 = 60\ cm\ Hg$ | $(V_{ol})_2 = ?$

$P_1(V_{ol})_1 = P_2(V_{ol})_2$

$20 \times 300 = 60\ (V_{ol})_2$

$(V_{ol})_2 = 100\ cm^3$

مثـــال ٢

الشـــكل المقابل يوضح أســطوانة منتظمة المقطع ومغلقة الطرفين تحتوى على مكبس قابل للحركة مهمل الاحتكاك يحبس كميتين مختلفتـــين من غاز على جانبيه، فإذا كان ضغــط الغاز على كل من جانبـــى المكبس 80 cm Hg، احسب فرق الضغط على جانبى المكبس عند تحريكه ببطء إلى منتصف الأسطوانة بفرض ثبوت درجة الحرارة.

الحـــل

$P_{1x} = 80\ cm\ Hg$ | $P_{1y} = 80\ cm\ Hg$ | $\Delta P = ?$

وسيلة مساعدة

* ∵ الأسطوانة منتظمة المقطع.

∴ طول عمود الغاز المحبوس فيها يمثل الحجم.

* عند إزاحة المكبس إلى منتصف الأسطوانة يصبح طول عمود الغاز على كل جانب من جانبى المكبس $2l$

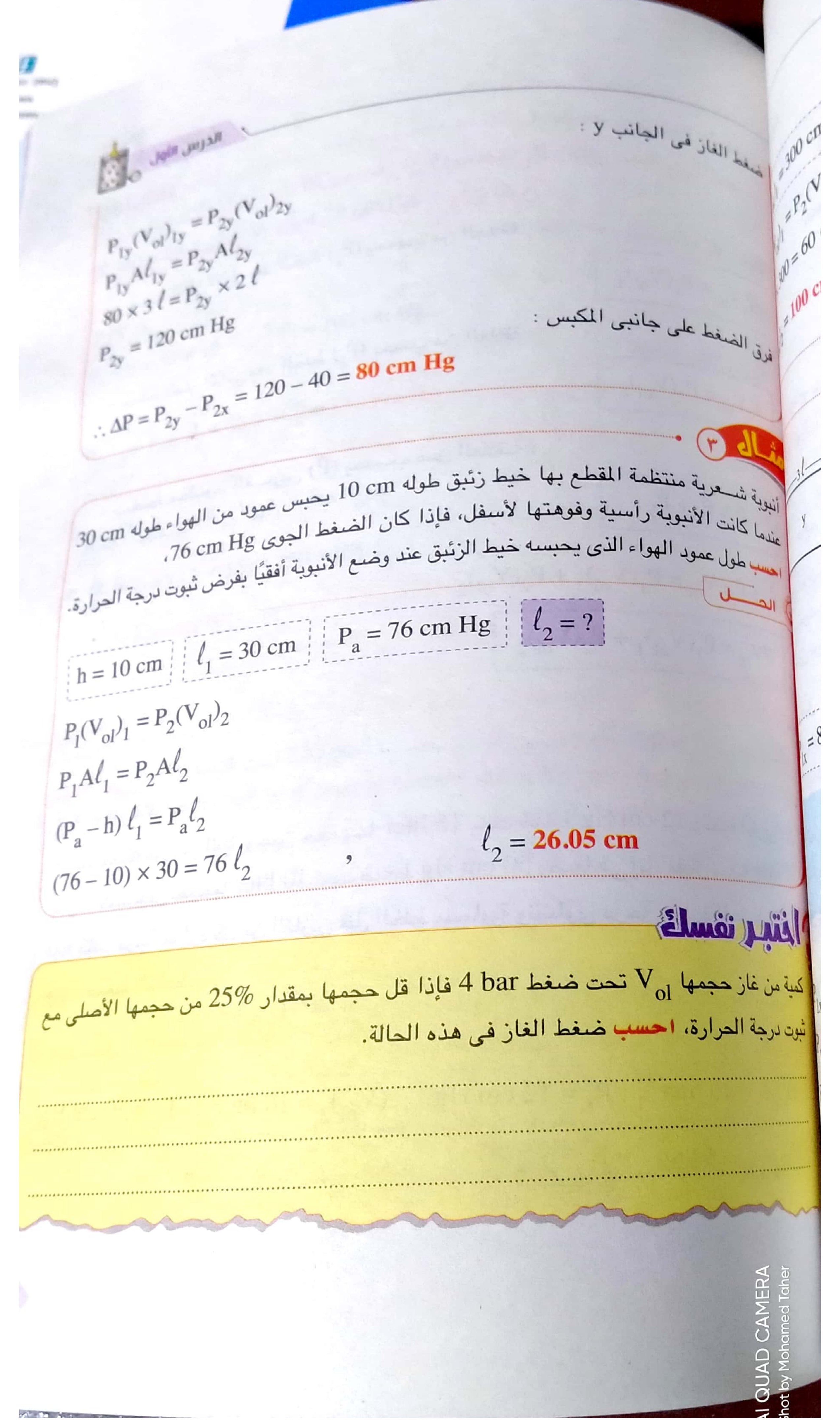
ضغط الغاز فى الجانب x :

$P_{1x}(V_{ol})_{1x} = P_{2x}(V_{ol})_{2x}$

$P_{1x}Al_{1x} = P_{2x}Al_{2x}$

$80\ l = P_{2x} \times 2\ l$

$P_{2x} = 40\ cm\ Hg$



ضغط الغاز فى الجانب y :

$P_{1y}(V_{ol})_{1y} = P_{2y}(V_{ol})_{2y}$

$P_{1y}A\ell_{1y} = P_{2y}A\ell_{2y}$

$80 \times 3\ell = P_{2y} \times 2\ell$

$P_{2y} = 120 \text{ cm Hg}$

فرق الضغط على جانبى المكبس :

$\therefore \Delta P = P_{2y} - P_{2x} = 120 - 40 =$ **80 cm Hg**

مثال ٣

أنبوبة شعرية منتظمة المقطع بها خيط زئبق طوله 10 cm يحبس عمود من الهواء طوله 30 cm عندما كانت الأنبوبة رأسية وفوهتها لأسفل، فإذا كان الضغط الجوى 76 cm Hg، **احسب** طول عمود الهواء الذى يحبسه خيط الزئبق عند وضع الأنبوبة أفقيًا بفرض ثبوت درجة الحرارة.

الحل

$\ell_2 = ?$ | $P_a = 76 \text{ cm Hg}$ | $\ell_1 = 30 \text{ cm}$ | $h = 10 \text{ cm}$

$P_1(V_{ol})_1 = P_2(V_{ol})_2$

$P_1A\ell_1 = P_2A\ell_2$

$(P_a - h)\ell_1 = P_a\ell_2$

$(76 - 10) \times 30 = 76\ell_2$ ، $\ell_2 =$ **26.05 cm**

اختبر نفسك

كمية من غاز حجمها V_{ol} تحت ضغط 4 bar فإذا قل حجمها بمقدار 25% من حجمها الأصلى مع ثبوت درجة الحرارة، **احسب** ضغط الغاز فى هذه الحالة.

....

....

....

إرشاد

* عند خلط غازين لا يتفاعلان، الأول حجمه $(V_{ol})_1$ وضغطه P_1 والثانى حجمه $(V_{ol})_2$ وضغطه P_2 فى إناء حجمه V_{ol}، فبفرض ثبوت درجة الحرارة يكون :

– ضغط الغاز الأول بعد الخلط $(\acute{P}_1)$ يحسب من العلاقة :

$$\acute{P}_1 V_{ol} = P_1 (V_{ol})_1$$

– ضغط الغاز الثانى بعد الخلط $(\acute{P}_2)$ يحسب من العلاقة :

$$\acute{P}_2 V_{ol} = P_2 (V_{ol})_2$$

– ضغـط مخلـوط الغــازين $(\acute{P})$ يحســب مــن العلاقة :

$$\acute{P} = \acute{P}_1 + \acute{P}_2$$

أى أن :

$$(\acute{P}_1 + \acute{P}_2) V_{ol} = P_1 (V_{ol})_1 + P_2 (V_{ol})_2$$

$$\acute{P} V_{ol} = P_1 (V_{ol})_1 + P_2 (V_{ol})_2$$

مثــال ١

كميــة معينة من غاز النيتروجين حجمهــا 15 liter تحت ضغط 12 cm Hg وكمية أخرى من غاز الأكســجين حجمها 10 liter تحت ضغط 50 cm Hg ووضعا فى إناء مقفل سعته 5 liter فإذا كانت درجة حرارة كل من الغازين قبل الخلط متساوية وتساوى درجة حرارة الخليط، **أوجد** ضغط الخليط.

الحـــل

$P_2 = 50 \text{ cm Hg}$ | $(V_{ol})_2 = 10 \text{ liter}$ | $P_1 = 12 \text{ cm Hg}$ | $(V_{ol})_1 = 15 \text{ liter}$

$P_{(\text{خليط})} = ?$ | $(V_{ol})_{\text{خليط}} = 5 \text{ liter}$



ضغط غاز النيتروچين بعد الخلط :

$$P_1 (V_{ol})_{خليط} = P_1 (V_{ol})_1$$

$$P_1 \times 5 = 12 \times 15 \quad , \quad P_1 = 36 \text{ cm Hg}$$

ضغط غاز الأكسچين بعد الخلط :

$$P_2 (V_{ol})_{خليط} = P_2 (V_{ol})_2$$

$$P_2 \times 5 = 50 \times 10 \quad , \quad P_2 = 100 \text{ cm Hg}$$

الضغط الكلى للخليط :

$$P_{(خليط)} = P_1 + P_2 = 36 + 100 = \mathbf{136 \text{ cm Hg}}$$

حل آخر :

$$P_{(خليط)} (V_{ol})_{خليط} = P_1 (V_{ol})_1 + P_2 (V_{ol})_2$$

$$P_{(خليط)} \times 5 = (12 \times 15) + (50 \times 10)$$

$$P_{(خليط)} = \mathbf{136 \text{ cm Hg}}$$

مثال ٢

مُلئ بالون من المطاط بالهواء حتى أصبح حجمه 200 cm^3 تحت ضغط 121.6 cm Hg ثم وضع فى إناء حجمه 800 cm^3 وأحكم إغلاقه، **احسب** ضغط الهواء داخل الإناء إذا انفجر البالون، بفرض إهمال حجم المطاط وثبوت درجة الحرارة.

(علمًا بأن : الضغط الجوى = 76 cm Hg)

الحل

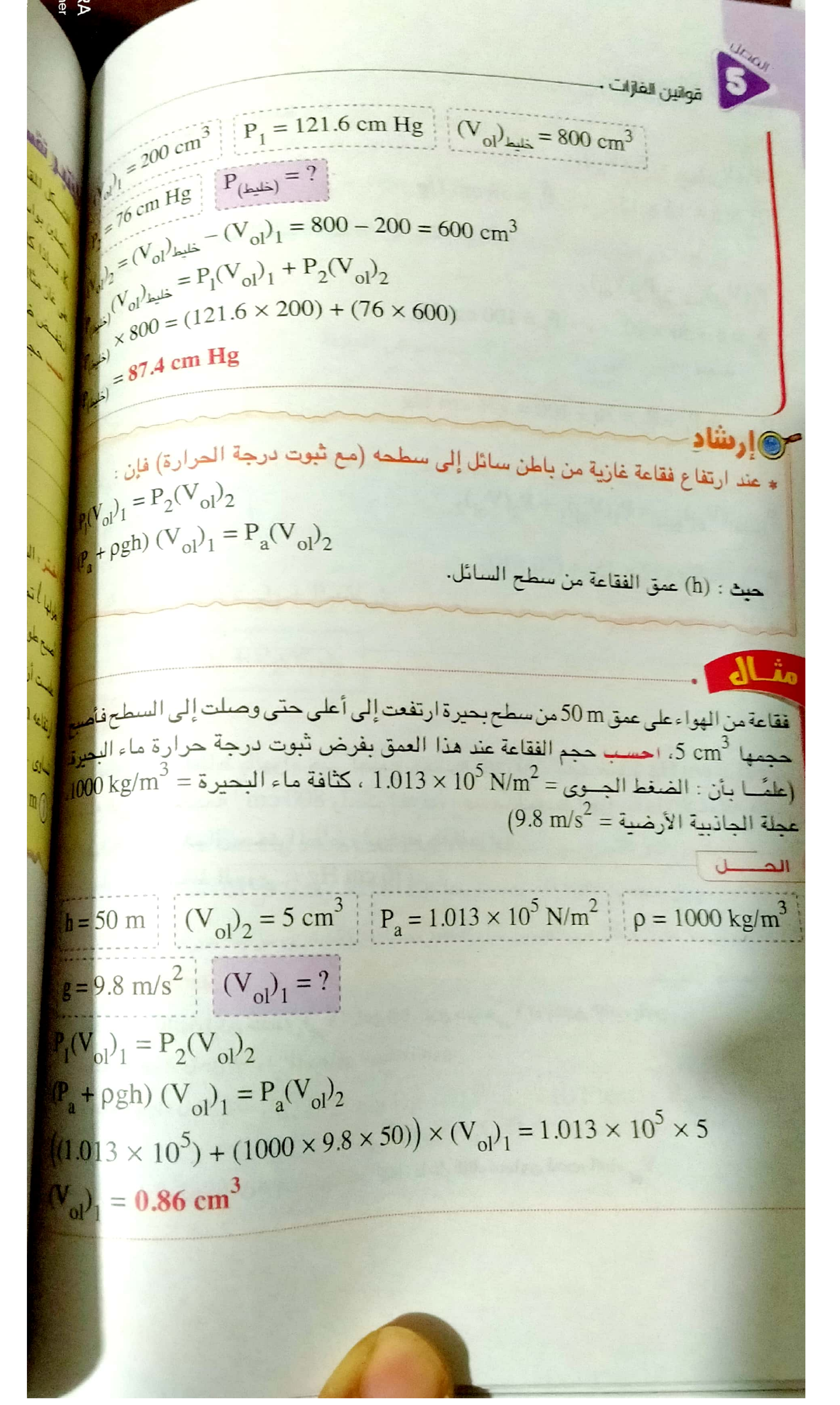
وسيلة مساعدة

* عند وضع البالون الذى حجمه $(V_{ol})_1$ داخل الإناء الذى حجمه V_{ol} ثم إغلاق الإناء، يكون :

- ضغط الهواء داخل الإناء (P_2) مساوى للضغط الجوى.
- حجم الهواء داخل الإناء $(V_{ol})_2$:

$$(V_{ol})_2 = V_{ol} - (V_{ol})_1$$

* عند انفجار البالون داخل الإناء يصبح حجم الهواء داخل الإناء مساوى لحجم الإناء V_{ol}



$(V_{ol})_1 = 200\ cm^3$	$P_1 = 121.6\ cm\ Hg$	$(V_{ol})_{خليط} = 800\ cm^3$
$P_2 = 76\ cm\ Hg$	$P_{(خليط)} = ?$	

$$(V_{ol})_2 = (V_{ol})_{خليط} - (V_{ol})_1 = 800 - 200 = 600\ cm^3$$

$$P_{(خليط)}(V_{ol})_{خليط} = P_1(V_{ol})_1 + P_2(V_{ol})_2$$

$$P_{(خليط)} \times 800 = (121.6 \times 200) + (76 \times 600)$$

$$P_{(خليط)} = 87.4\ cm\ Hg$$

إرشاد

* عند ارتفاع فقاعة غازية من باطن سائل إلى سطحه (مع ثبوت درجة الحرارة) فإن :

$$P_1(V_{ol})_1 = P_2(V_{ol})_2$$

$$(P_a + \rho gh)(V_{ol})_1 = P_a(V_{ol})_2$$

حيث : (h) عمق الفقاعة من سطح السائل.

مثال

فقاعة من الهواء على عمق 50 m من سطح بحيرة ارتفعت إلى أعلى حتى وصلت إلى السطح فأصبح حجمها $5\ cm^3$، **احسب** حجم الفقاعة عند هذا العمق بفرض ثبوت درجة حرارة ماء البحيرة (علمًا بأن : الضغط الجوى = $1.013 \times 10^5\ N/m^2$ ، كثافة ماء البحيرة = $1000\ kg/m^3$ ، عجلة الجاذبية الأرضية = $9.8\ m/s^2$)

الحل

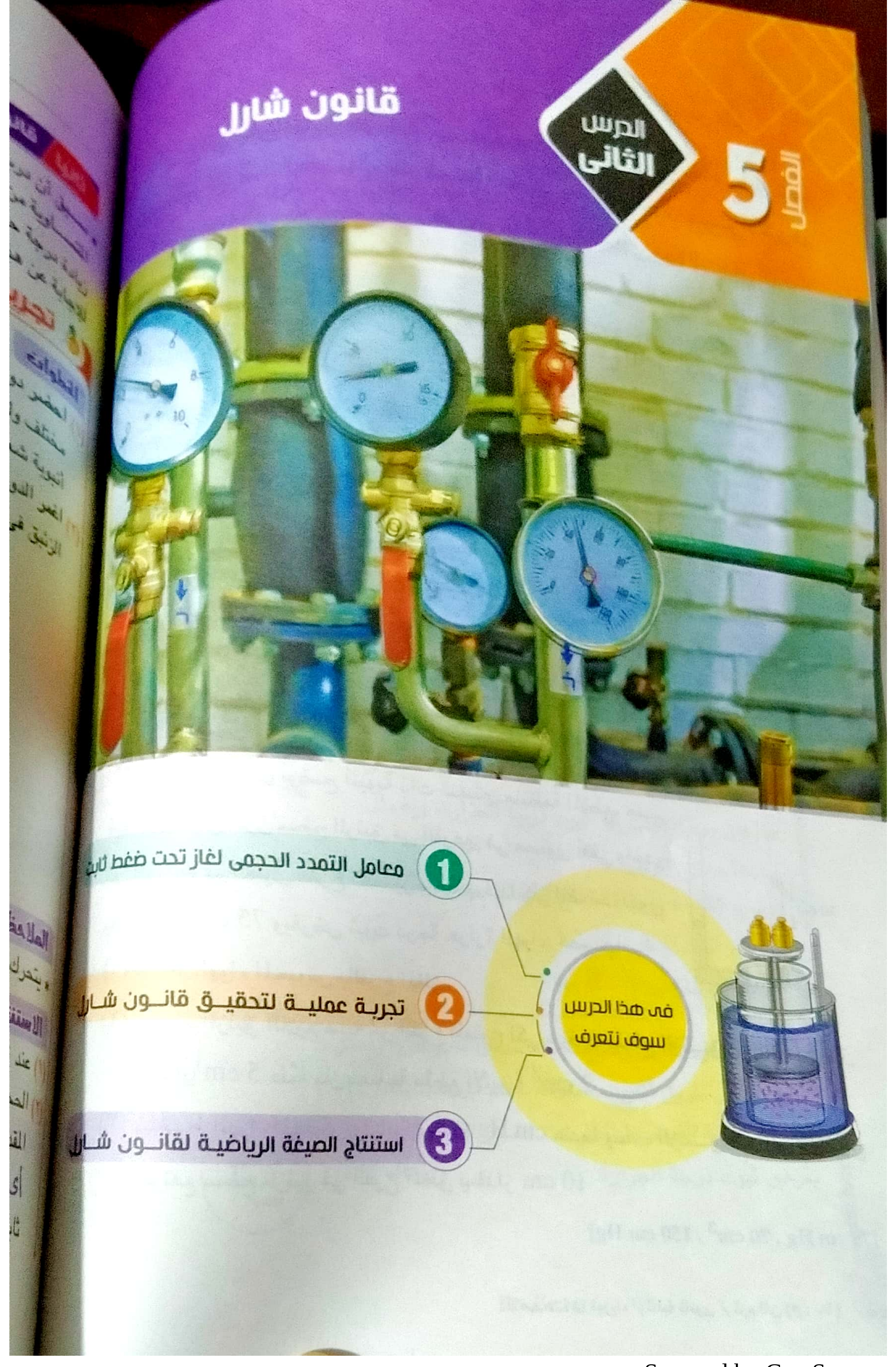
$h = 50\ m$	$(V_{ol})_2 = 5\ cm^3$	$P_a = 1.013 \times 10^5\ N/m^2$	$\rho = 1000\ kg/m^3$
$g = 9.8\ m/s^2$	$(V_{ol})_1 = ?$		

$$P_1(V_{ol})_1 = P_2(V_{ol})_2$$

$$(P_a + \rho gh)(V_{ol})_1 = P_a(V_{ol})_2$$

$$\left((1.013 \times 10^5) + (1000 \times 9.8 \times 50)\right) \times (V_{ol})_1 = 1.013 \times 10^5 \times 5$$

$$(V_{ol})_1 = 0.86\ cm^3$$


الفصل
5
الدرس
الثانى
قانون شارل
معامل التمدد الحجمى لغاز تحت ضغط ثابت
تجربة عملية لتحقيق قانون شارل
استنتاج الصيغة الرياضية لقانون شارل
فى هذا الدرس
سوف نتعرف
1
2
3

ثانيًا قانون شارل

* سبق أن درست أن المواد (صلبة، سائلة، غازية) تتمدد بالحرارة، ولكن هل تتمدد الحجوم المتساوية من الغازات المختلفة وهى تحت ضغط ثابت بمقادير متساوية أم بمقادير مختلفة عند زيادة درجة حرارتها بنفس المقدار ؟

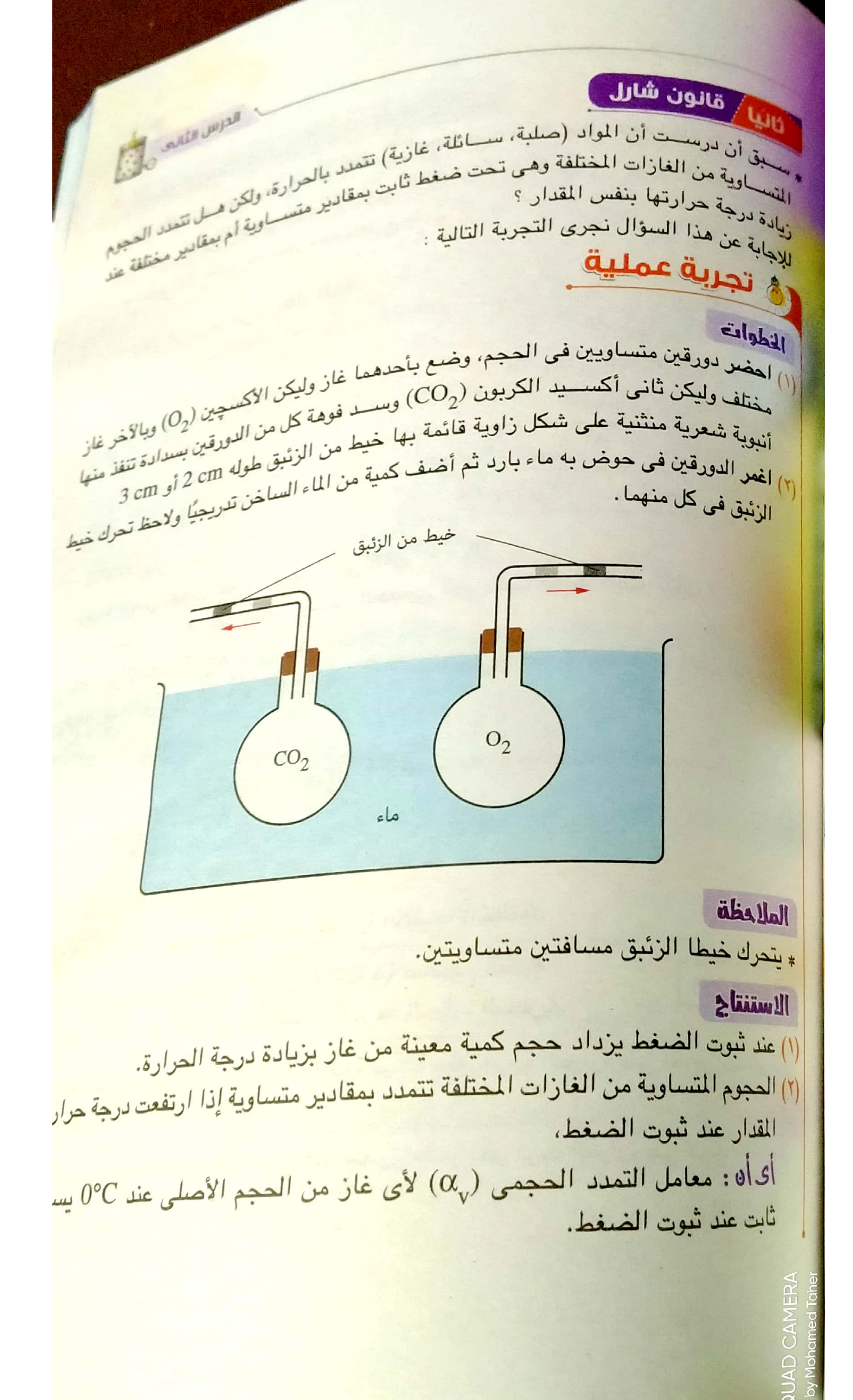
للإجابة عن هذا السؤال نجرى التجربة التالية :

تجربة عملية

الخطوات

(١) احضر دورقين متساويين فى الحجم، وضع بأحدهما غاز وليكن الأكسجين (O_2) وبالآخر غاز مختلف وليكن ثانى أكسيد الكربون (CO_2) وسد فوهة كل من الدورقين بسدادة تنفذ منها أنبوبة شعرية منثنية على شكل زاوية قائمة بها خيط من الزئبق طوله 2 cm أو 3 cm

(٢) اغمر الدورقين فى حوض به ماء بارد ثم أضف كمية من الماء الساخن تدريجيًا ولاحظ تحرك خيط الزئبق فى كل منهما.



الملاحظة

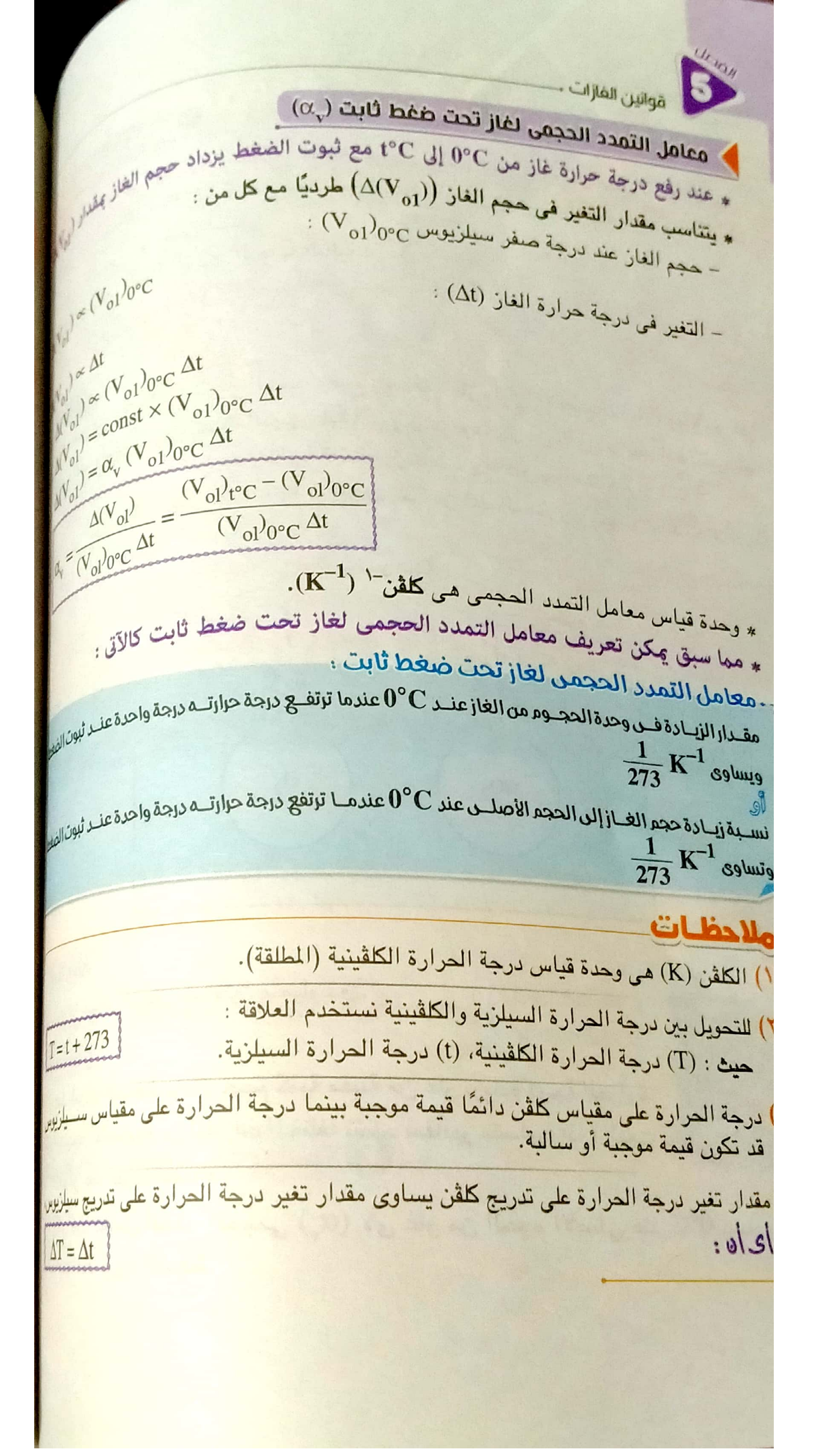
* يتحرك خيطا الزئبق مسافتين متساويتين.

الاستنتاج

(١) عند ثبوت الضغط يزداد حجم كمية معينة من غاز بزيادة درجة الحرارة.

(٢) الحجوم المتساوية من الغازات المختلفة تتمدد بمقادير متساوية إذا ارتفعت درجة حرار[ـتها بنفس] المقدار عند ثبوت الضغط،

أى أن : معامل التمدد الحجمى (α_v) لأى غاز من الحجم الأصلى عند $0°C$ يس[ـاوى مقدار] ثابت عند ثبوت الضغط.



معامل التمدد الحجمى لغاز تحت ضغط ثابت (α_v)

* عند رفع درجة حرارة غاز من $0°C$ إلى $t°C$ مع ثبوت الضغط يزداد حجم الغاز بمقدار ($\Delta(V_{ol})$)

* يتناسب مقدار التغير فى حجم الغاز ($\Delta(V_{ol})$) طرديًا مع كل من :

– حجم الغاز عند درجة صفر سيلزيوس $(V_{ol})_{0°C}$:

$$\Delta(V_{ol}) \propto (V_{ol})_{0°C}$$

– التغير فى درجة حرارة الغاز (Δt) :

$$\Delta(V_{ol}) \propto \Delta t$$

$$\Delta(V_{ol}) \propto (V_{ol})_{0°C}\,\Delta t$$

$$\Delta(V_{ol}) = const \times (V_{ol})_{0°C}\,\Delta t$$

$$\Delta(V_{ol}) = \alpha_v\,(V_{ol})_{0°C}\,\Delta t$$

$$\alpha_v = \frac{\Delta(V_{ol})}{(V_{ol})_{0°C}\,\Delta t} = \frac{(V_{ol})_{t°C} - (V_{ol})_{0°C}}{(V_{ol})_{0°C}\,\Delta t}$$

* وحدة قياس معامل التمدد الحجمى هى **كلفن$^{-1}$ (K^{-1}).**

* **مما سبق يمكن تعريف معامل التمدد الحجمى لغاز تحت ضغط ثابت كالآتى :**

معامل التمدد الحجمى لغاز تحت ضغط ثابت :

مقدار الزيادة فى وحدة الحجوم من الغاز عند $0°C$ عندما ترتفع درجة حرارته درجة واحدة عند ثبوت الضغط
ويساوى $\frac{1}{273}\ K^{-1}$

أو

نسبة زيادة حجم الغاز إلى الحجم الأصلى عند $0°C$ عندما ترتفع درجة حرارته درجة واحدة عند ثبوت الضغط
وتساوى $\frac{1}{273}\ K^{-1}$

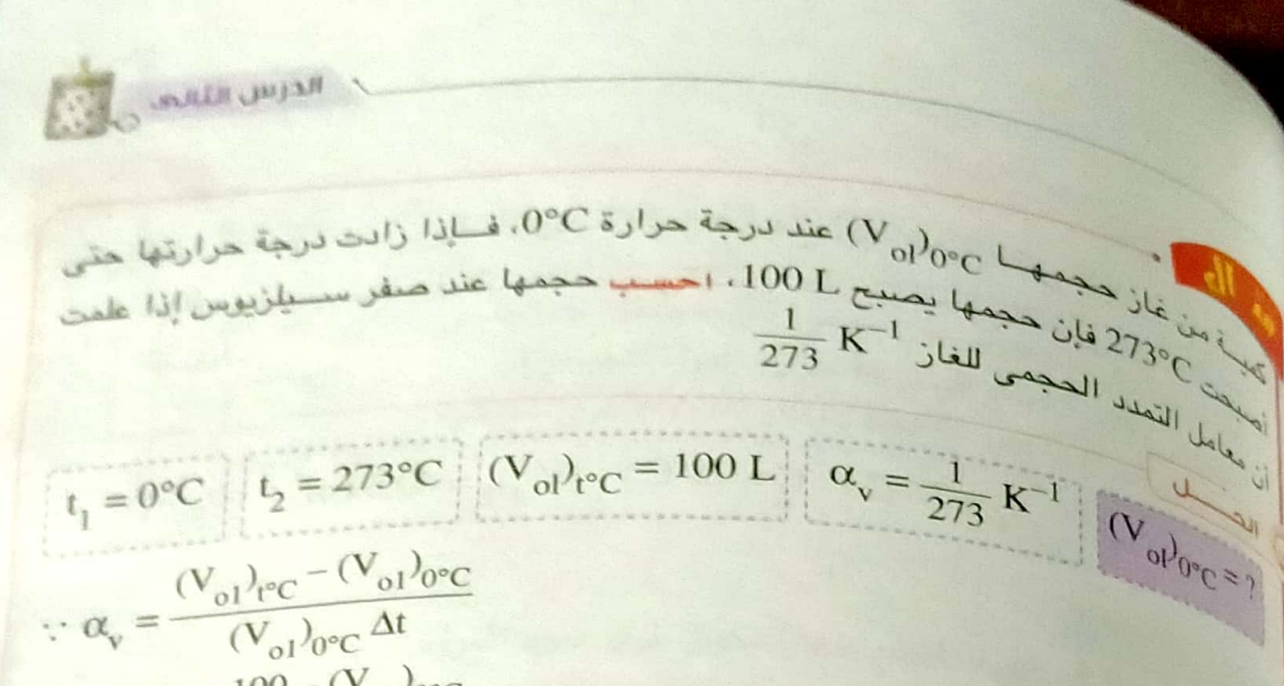
ملاحظات

١) الكلفن (K) هى وحدة قياس درجة الحرارة الكلفينية (المطلقة).

٢) للتحويل بين درجة الحرارة السيلزية والكلفينية نستخدم العلاقة : $T = t + 273$
حيث : (T) درجة الحرارة الكلفينية، (t) درجة الحرارة السيلزية.

٣) درجة الحرارة على مقياس كلفن دائمًا قيمة موجبة بينما درجة الحرارة على مقياس سيلزيوس قد تكون قيمة موجبة أو سالبة.

٤) مقدار تغير درجة الحرارة على تدريج كلفن يساوى مقدار تغير درجة الحرارة على تدريج سيلزيوس
أى أن : $\Delta T = \Delta t$



مثال كمية من غاز حجمها $(V_{ol})_{0°C}$ عند درجة حرارة $0°C$، فإذا زادت درجة حرارتها حتى $273°C$ فإن حجمها يصبح $100\ L$، **احسب** حجمها عند صفر سيلزيوس إذا علمت أن معامل التمدد الحجمى للغاز $\frac{1}{273}\ K^{-1}$

الحل

$(V_{ol})_{0°C} = ?$ | $\alpha_v = \frac{1}{273}\ K^{-1}$ | $(V_{ol})_{t°C} = 100\ L$ | $t_2 = 273°C$ | $t_1 = 0°C$

$$\because \alpha_v = \frac{(V_{ol})_{t°C} - (V_{ol})_{0°C}}{(V_{ol})_{0°C}\ \Delta t}$$

$$\therefore \frac{1}{273} = \frac{100 - (V_{ol})_{0°C}}{(V_{ol})_{0°C} \times (273 - 0)}$$

$$\therefore 273\ (V_{ol})_{0°C} = 273\ \left(100 - (V_{ol})_{0°C}\right)$$

$$\therefore (V_{ol})_{0°C} = 100 - (V_{ol})_{0°C}$$

$$\therefore (V_{ol})_{0°C} = 50\ L$$

إرشاد معامل التمدد الحجمى لغاز من الحجم الأصلى عند $0°C$ تحت ضغط ثابت بمعلومية

• يمكن حساب حجمه عند درجتى حرارة t_1 ، t_2 كالتالى :

- عند رفع درجة حرارة الغاز من $0°C$ إلى t_1 ، يكون :

$$(V_{ol})_1 - (V_{ol})_{0°C} = \alpha_v\ (V_{ol})_{0°C}\ (\Delta t)_1$$

حيث : $(V_{ol})_1$ حجم الغاز عند t_1

$$\therefore (V_{ol})_1 = (V_{ol})_{0°C} + \alpha_v\ (V_{ol})_{0°C}\ (t_1 - 0)$$

$$\therefore (V_{ol})_1 = (V_{ol})_{0°C}\ (1 + \alpha_v t_1) \quad (1)$$

- عند رفع درجة حرارة الغاز من $0°C$ إلى t_2 ، يكون :

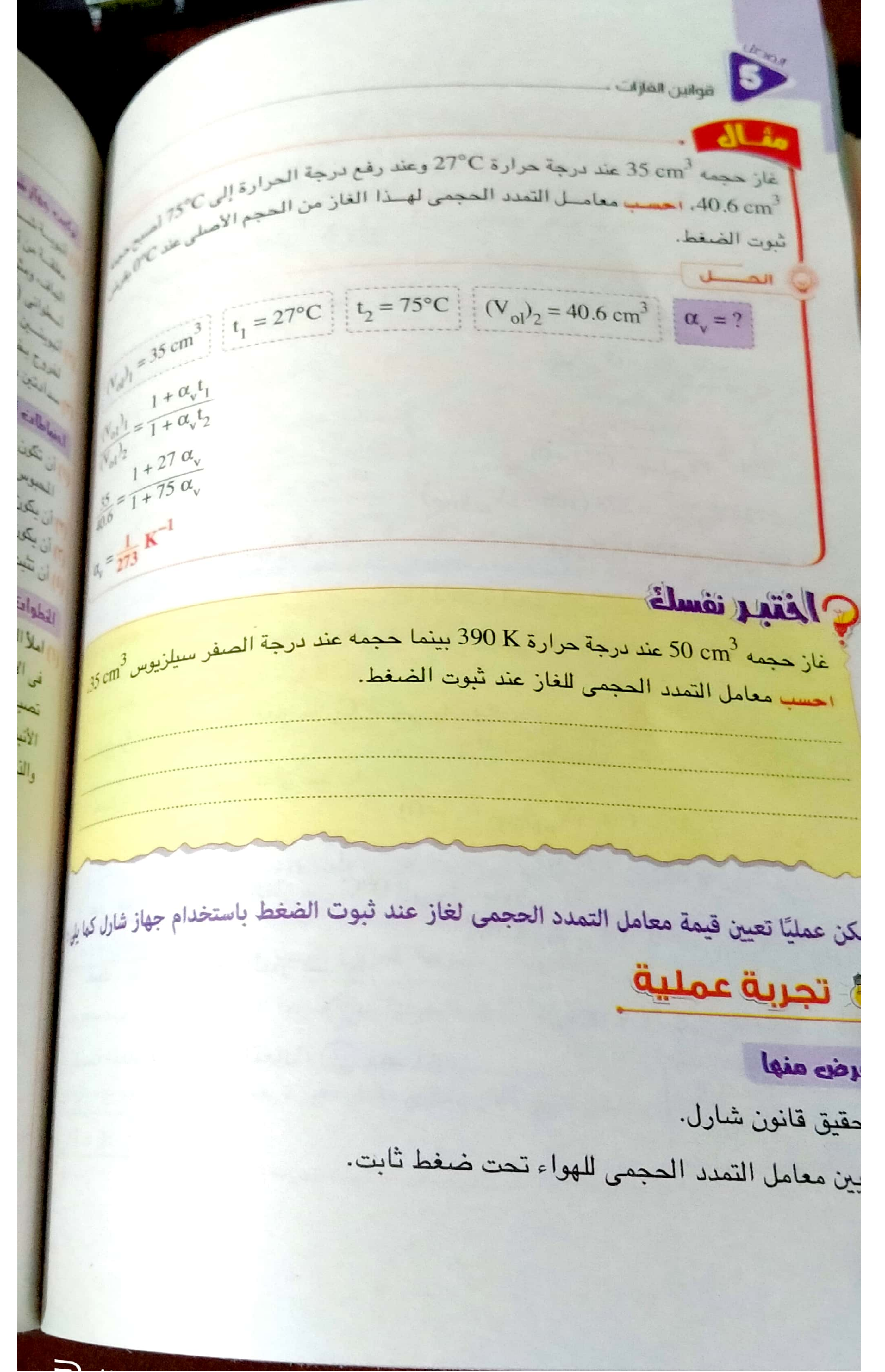
$$(V_{ol})_2 - (V_{ol})_{0°C} = \alpha_v\ (V_{ol})_{0°C}\ (\Delta t)_2$$

حيث : $(V_{ol})_2$ حجم الغاز عند t_2

$$\therefore (V_{ol})_2 = (V_{ol})_{0°C}\ (1 + \alpha_v t_2) \quad (2)$$

بقسمة المعادلة (1) على المعادلة (2) نجد أن :

$$\frac{(V_{ol})_1}{(V_{ol})_2} = \frac{1 + \alpha_v t_1}{1 + \alpha_v t_2}$$



مثال

غاز حجمه $35\ cm^3$ عند درجة حرارة $27°C$ وعند رفع درجة الحرارة إلى $75°C$ أصبح حجمه $40.6\ cm^3$، احسب معامل التمدد الحجمى لهذا الغاز من الحجم الأصلى عند $0°C$ بفرض ثبوت الضغط.

الحل

$(V_{ol})_1 = 35\ cm^3$ | $t_1 = 27°C$ | $t_2 = 75°C$ | $(V_{ol})_2 = 40.6\ cm^3$ | $\alpha_v = ?$

$$\frac{(V_{ol})_1}{(V_{ol})_2} = \frac{1 + \alpha_v t_1}{1 + \alpha_v t_2}$$

$$\frac{35}{40.6} = \frac{1 + 27\,\alpha_v}{1 + 75\,\alpha_v}$$

$$\alpha_v = \frac{1}{273}\ K^{-1}$$

اختبر نفسك

غاز حجمه $50\ cm^3$ عند درجة حرارة $390\ K$ بينما حجمه عند درجة الصفر سيلزيوس $35\ cm^3$
احسب معامل التمدد الحجمى للغاز عند ثبوت الضغط.

....

....

....

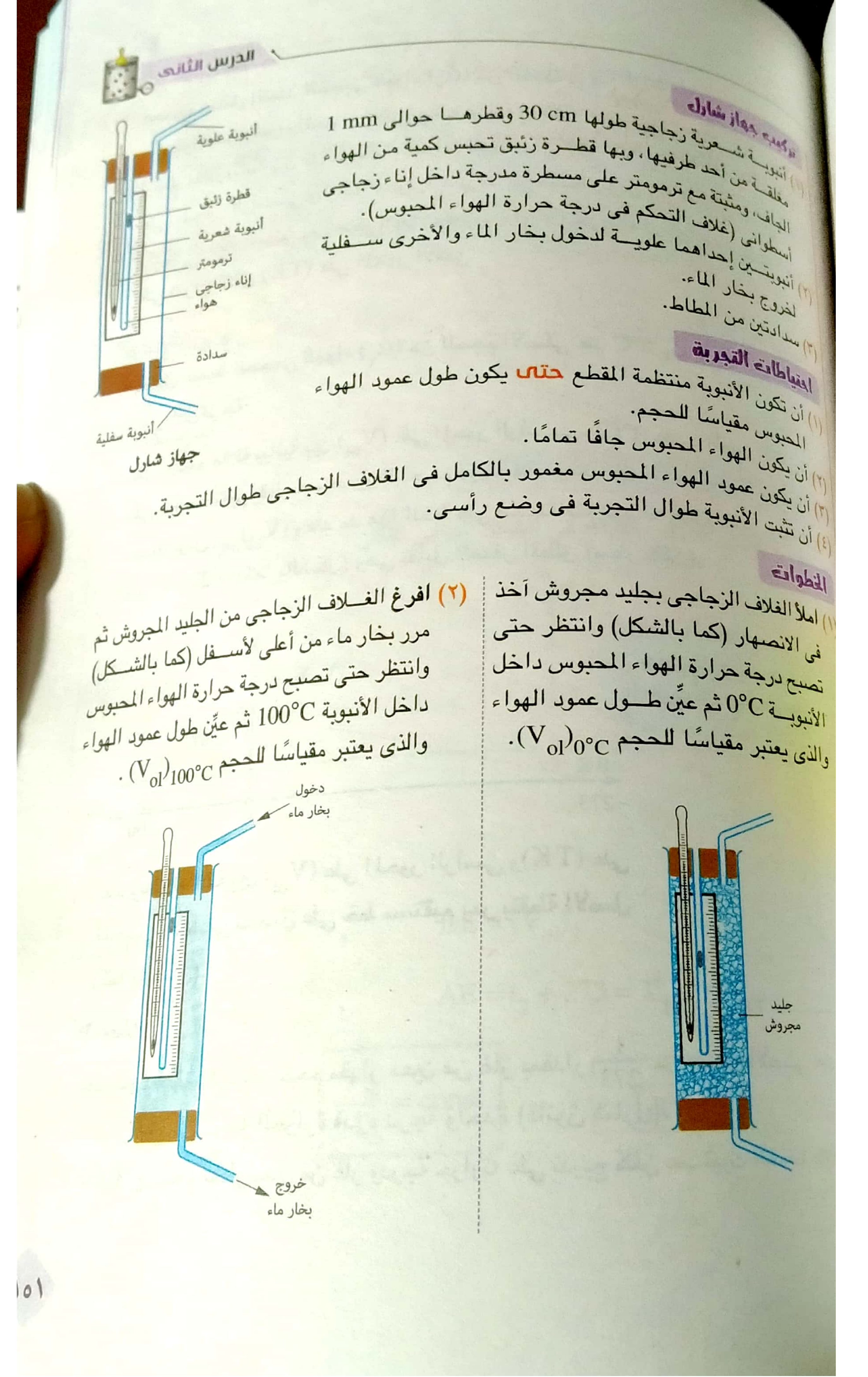
كن عمليًا تعيين قيمة معامل التمدد الحجمى لغاز عند ثبوت الضغط باستخدام جهاز شارل كما يل

تجربة عملية

رض منها

حقيق قانون شارل.

ين معامل التمدد الحجمى للهواء تحت ضغط ثابت.



تركيب جهاز شارل

(١) أنبوبة شعرية زجاجية طولها 30 cm وقطرها حوالى 1 mm مغلقة من أحد طرفيها، وبها قطرة زئبق تحبس كمية من الهواء الجاف، ومثبتة مع ترمومتر على مسطرة مدرجة داخل إناء زجاجى أسطوانى (غلاف التحكم فى درجة حرارة الهواء المحبوس).

(٢) أنبوبتين إحداهما علوية لدخول بخار الماء والأخرى سفلية لخروج بخار الماء.

(٣) سدادتين من المطاط.

جهاز شارل

احتياطات التجربة

(١) أن تكون الأنبوبة منتظمة المقطع **حتى** يكون طول عمود الهواء المحبوس مقياسًا للحجم.

(٢) أن يكون الهواء المحبوس جافًا تمامًا.

(٣) أن يكون عمود الهواء المحبوس مغمور بالكامل فى الغلاف الزجاجى طوال التجربة.

(٤) أن تثبت الأنبوبة طوال التجربة فى وضع رأسى.

الخطوات

(١) املأ الغلاف الزجاجى بجليد مجروش آخذ فى الانصهار (كما بالشكل) وانتظر حتى تصبح درجة حرارة الهواء المحبوس داخل الأنبوبة $0°C$ ثم عيِّن طول عمود الهواء والذى يعتبر مقياسًا للحجم $(V_{ol})_{0°C}$.

(٢) **افرغ** الغلاف الزجاجى من الجليد المجروش ثم مرر بخار ماء من أعلى لأسفل (كما بالشكل) وانتظر حتى تصبح درجة حرارة الهواء المحبوس داخل الأنبوبة $100°C$ ثم عيِّن طول عمود الهواء والذى يعتبر مقياسًا للحجم $(V_{ol})_{100°C}$.



(٣) احسب معامل التمدد الحجمى للهواء (α_v) من العلاقة :

$$\alpha_v = \frac{(V_{ol})_{100°C} - (V_{ol})_{0°C}}{(V_{ol})_{0°C} \times 100}$$

(٤) عيّن طول عمود الهواء المحبوس عند درجات حرارة مختلفة.

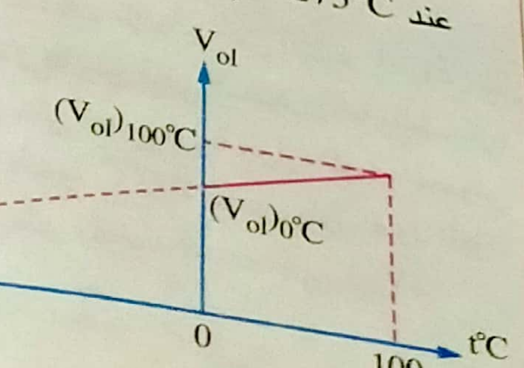
(٥) ارسم علاقة بيانية بين كل من حجم الهواء المحبوس (V_{ol}) على المحور الرأسـى ودرجة الحرارة على تدريج سـيلزيوس $(t°C)$ على المحور الأفقى وكذلك العلاقة البيانية بين حجم الهواء المحبوس (V_{ol}) على المحور الرأسـى ودرجة الحرارة على تدريج كلفن (TK) على المحور الأفقى.

الملاحظة

(١) معامل التمدد الحجمى للهواء (α_v) من الحجم الأصلى عند $0°C$ عند ثبوت الضغط يساوى $\frac{1}{273}$ لكل درجة.

(٢) عند رسـم علاقة بيانية بين (V_{ol}) على المحور الرأسـى و$(t°C)$ علـى المحور الأفقى نحصل **على خط مستقيم يقطـع محـور الحجـم** عند قيمة حجـم الهواء المحبوس عنـد درجة صفر سـيلزيوس $(V_{ol})_{0°C}$ وعند مد هذا الخط على اسـتقامته نجد أنه يقطع محور درجة الحرارة عند $-273°C$ (كما بالشكل) وهى تقابل **الصفر المطلق (صفر كلفن)**.

الصفر المطلق :
درجة الحرارة التى ينعدم عندها حجم الغاز نظريًا عند ثبوت الضغط



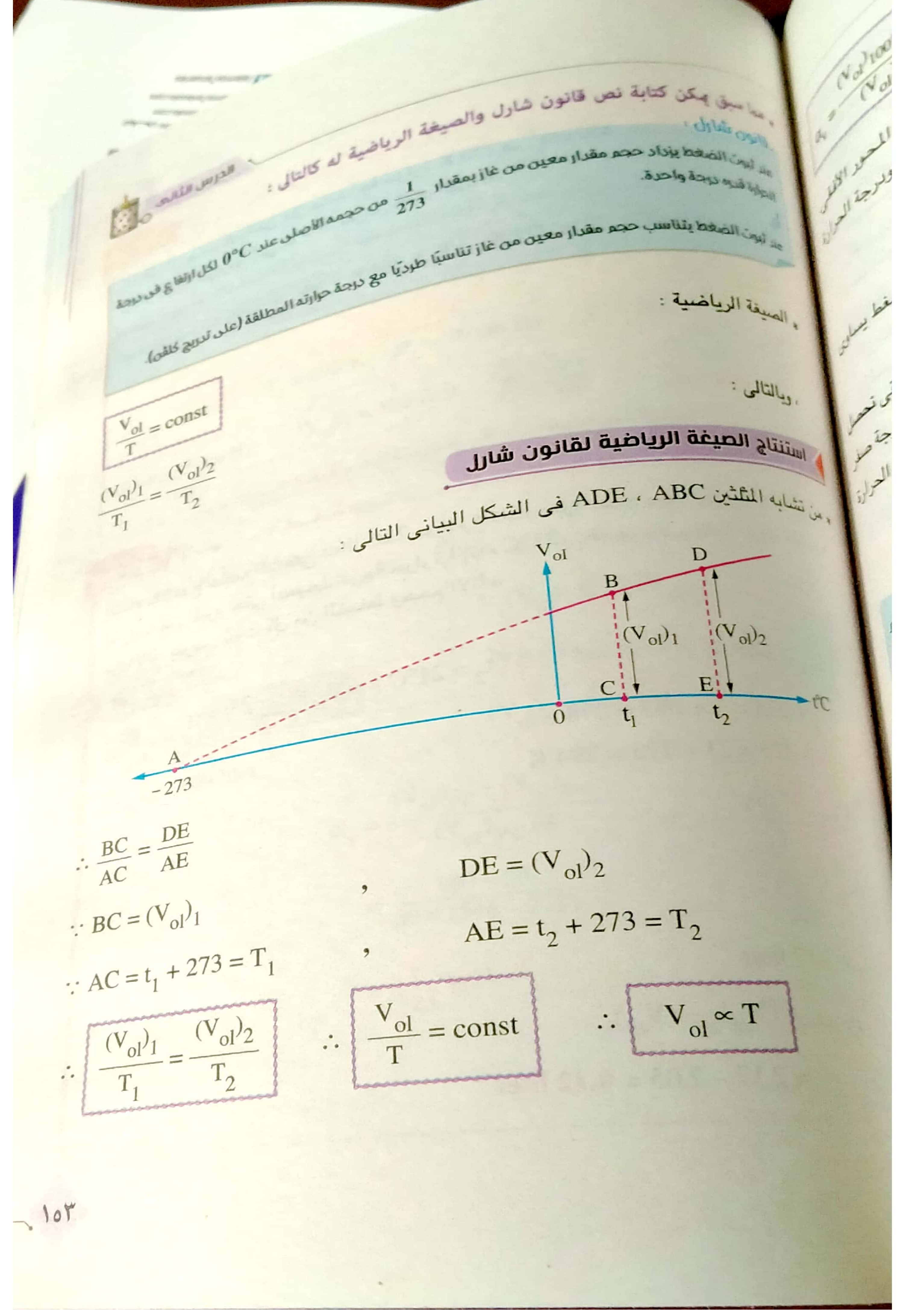
(٣) عند رسـم العلاقة بين (V_{ol}) على المحور الرأسـى و(TK) على المحـور الأفقـى **نحصل على خط مستقيم يمر بنقطة الأصل** (كما بالشكل).

TK

الاستنتاج

(١) عند ثبوت الضغط يزداد حجم مقدار معين من غاز بمقدار $\frac{1}{273}$ من حجمه الأصلى عند $0°C$ لكل ارتفاع فى درجة الحرارة قدره درجة واحدة (قانون شارل).

(٢) العلاقة بين حجم مقدار معين من غاز ودرجة حرارته على تدريج كلفن عند ثبوت الضغط علاقة طردية



الدرس الثانى

• مما سبق يمكن كتابة نص قانون شارل والصيغة الرياضية له كالتالى :

قانون شارل :

عند ثبوت الضغط يزداد حجم مقدار معين من غاز بمقدار $\frac{1}{273}$ من حجمه الأصلى عند $0°C$ لكل ارتفاع فى درجة الحرارة قدره درجة واحدة.

عند ثبوت الضغط يتناسب حجم مقدار معين من غاز تناسبًا طرديًا مع درجة حرارته المطلقة (على تدريج كلفن).

• الصيغة الرياضية :

$$\frac{V_{ol}}{T} = const$$

• وبالتالى :

$$\frac{(V_{ol})_1}{T_1} = \frac{(V_{ol})_2}{T_2}$$

استنتاج الصيغة الرياضية لقانون شارل

• من تشابه المثلثين ABC ، ADE فى الشكل البيانى التالى :

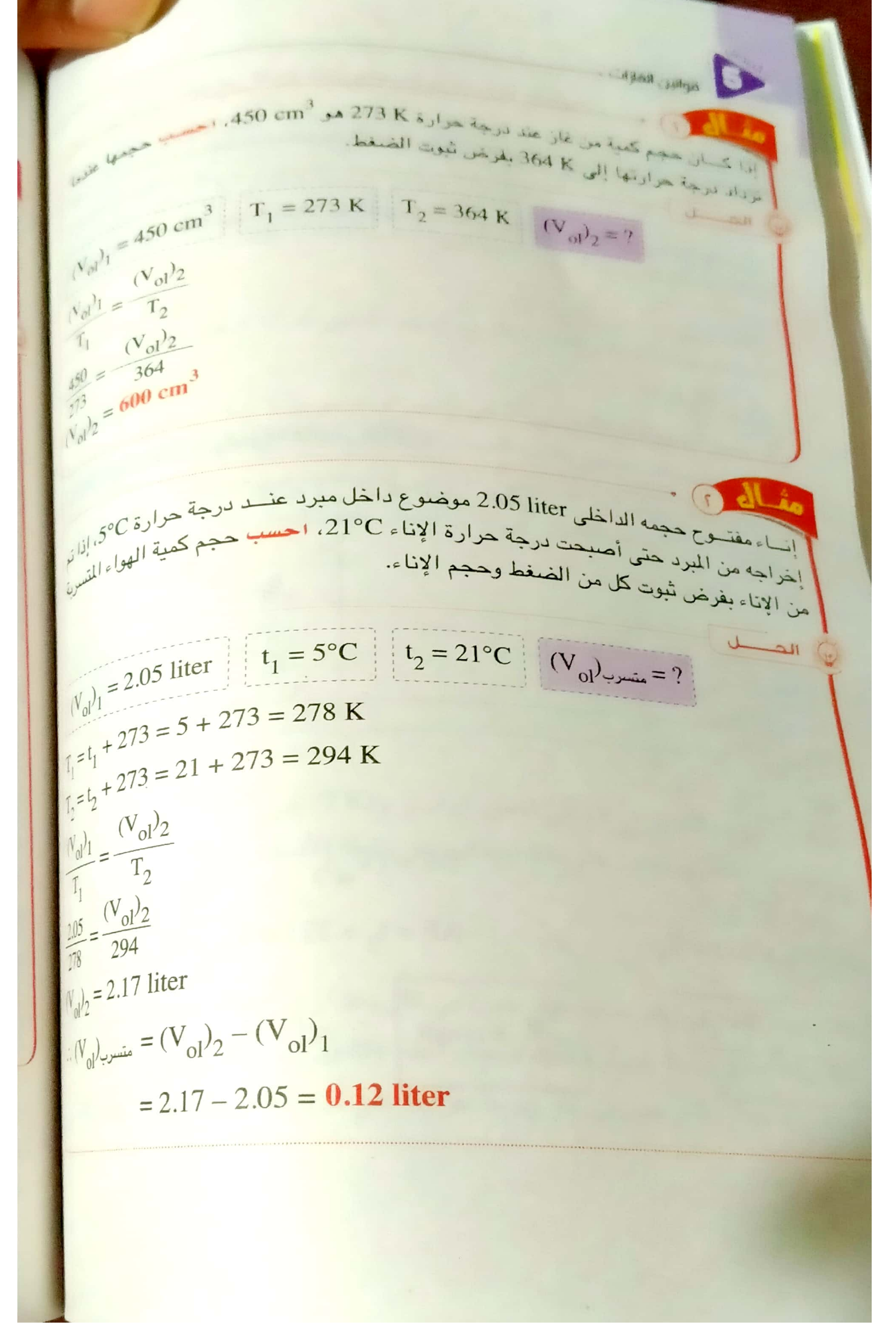
$$\therefore \frac{BC}{AC} = \frac{DE}{AE}$$

$\because BC = (V_{ol})_1$, $DE = (V_{ol})_2$

$\because AC = t_1 + 273 = T_1$, $AE = t_2 + 273 = T_2$

$$\therefore \frac{(V_{ol})_1}{T_1} = \frac{(V_{ol})_2}{T_2} \qquad \therefore \frac{V_{ol}}{T} = const \qquad \therefore V_{ol} \propto T$$

Scanned by CamScanner



مثال ١

إذا كان حجم كمية من غاز عند درجة حرارة 273 K هو $450\ cm^3$، **احسب** حجمها عندما تزداد درجة حرارتها إلى 364 K بفرض ثبوت الضغط.

الحل

$(V_{ol})_1 = 450\ cm^3$	$T_1 = 273\ K$	$T_2 = 364\ K$	$(V_{ol})_2 = ?$

$$\frac{(V_{ol})_1}{T_1} = \frac{(V_{ol})_2}{T_2}$$

$$\frac{450}{273} = \frac{(V_{ol})_2}{364}$$

$$(V_{ol})_2 = \mathbf{600\ cm^3}$$

مثال ٢

إناء مفتوح حجمه الداخلى 2.05 liter موضوع داخل مبرد عند درجة حرارة 5°C، إذا تم إخراجه من المبرد حتى أصبحت درجة حرارة الإناء 21°C، **احسب** حجم كمية الهواء المتسربة من الإناء بفرض ثبوت كل من الضغط وحجم الإناء.

الحل

$(V_{ol})_1 = 2.05$ liter	$t_1 = 5°C$	$t_2 = 21°C$	$(V_{ol})_{\text{متسرب}} = ?$

$$T_1 = t_1 + 273 = 5 + 273 = 278\ K$$

$$T_2 = t_2 + 273 = 21 + 273 = 294\ K$$

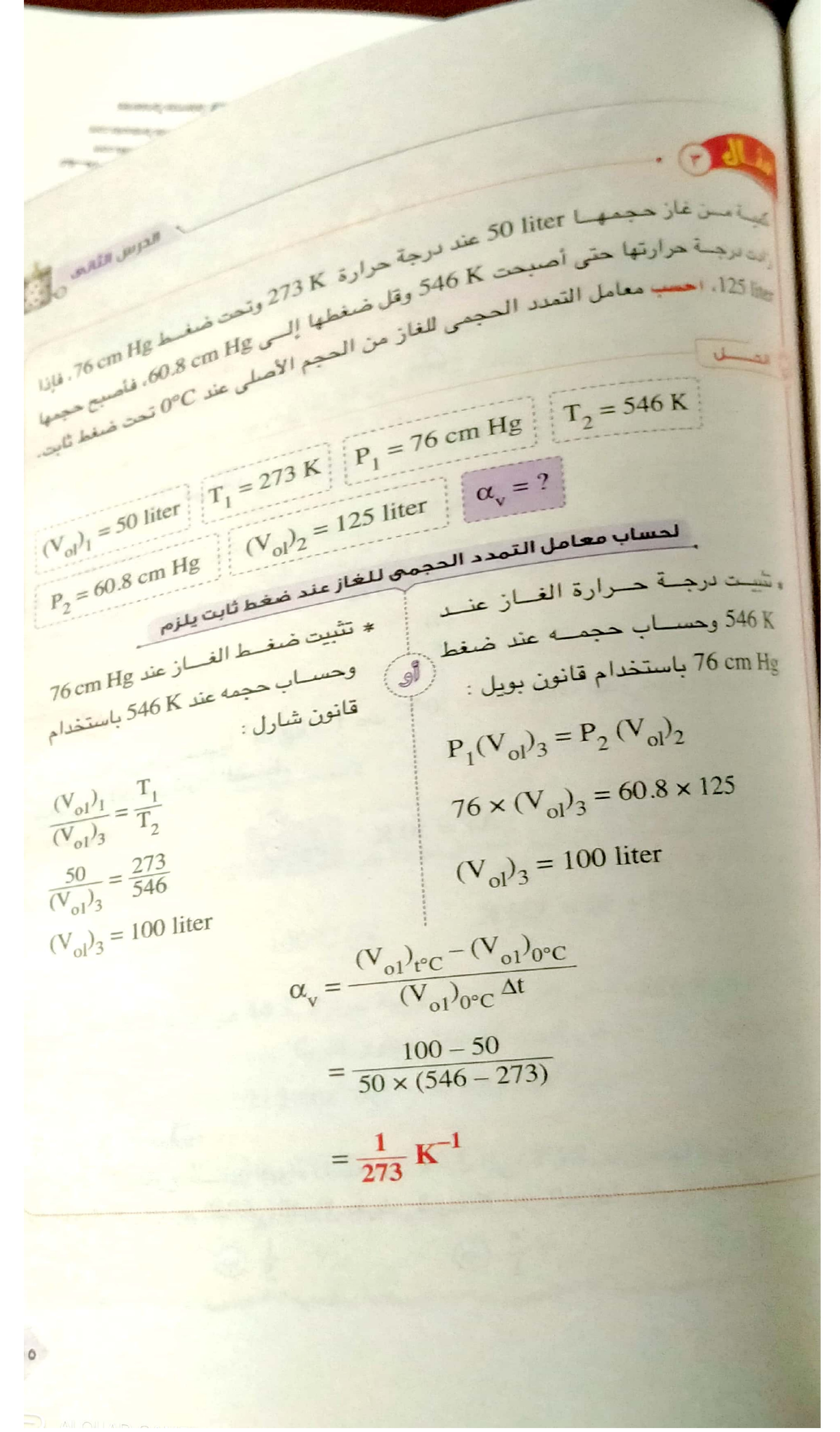
$$\frac{(V_{ol})_1}{T_1} = \frac{(V_{ol})_2}{T_2}$$

$$\frac{2.05}{278} = \frac{(V_{ol})_2}{294}$$

$$(V_{ol})_2 = 2.17\ \text{liter}$$

$$\therefore (V_{ol})_{\text{متسرب}} = (V_{ol})_2 - (V_{ol})_1$$

$$= 2.17 - 2.05 = \mathbf{0.12\ liter}$$



مثال ٣

كمية من غاز حجمها 50 liter عند درجة حرارة 273 K وتحت ضغط 76 cm Hg، فإذا زادت درجة حرارتها حتى أصبحت 546 K وقل ضغطها إلى 60.8 cm Hg، فأصبح حجمها 125 liter، **احسب** معامل التمدد الحجمى للغاز من الحجم الأصلى عند 0°C تحت ضغط ثابت.

الحل

$(V_{ol})_1 = 50$ liter | $T_1 = 273$ K | $P_1 = 76$ cm Hg | $T_2 = 546$ K

$P_2 = 60.8$ cm Hg | $(V_{ol})_2 = 125$ liter | $\alpha_v = ?$

لحساب معامل التمدد الحجمى للغاز عند ضغط ثابت يلزم

• تثبيت درجة حرارة الغاز عند 546 K وحساب حجمه عند ضغط 76 cm Hg باستخدام قانون بويل :

$$P_1 (V_{ol})_3 = P_2 (V_{ol})_2$$

$$76 \times (V_{ol})_3 = 60.8 \times 125$$

$$(V_{ol})_3 = 100 \text{ liter}$$

أو

* تثبيت ضغط الغاز عند 76 cm Hg وحساب حجمه عند 546 K باستخدام قانون شارل :

$$\frac{(V_{ol})_1}{(V_{ol})_3} = \frac{T_1}{T_2}$$

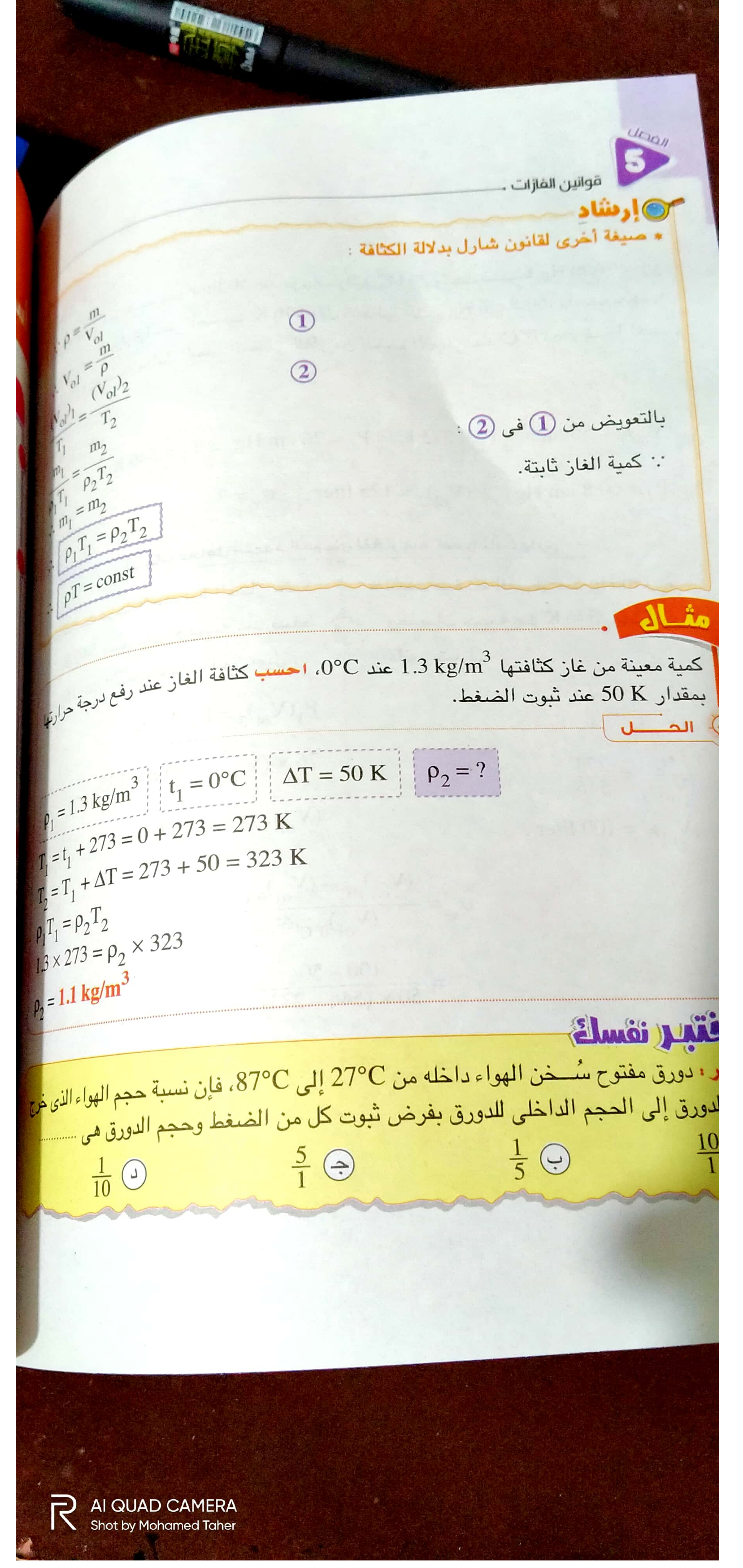
$$\frac{50}{(V_{ol})_3} = \frac{273}{546}$$

$$(V_{ol})_3 = 100 \text{ liter}$$

$$\alpha_v = \frac{(V_{ol})_{t°C} - (V_{ol})_{0°C}}{(V_{ol})_{0°C}\, \Delta t}$$

$$= \frac{100 - 50}{50 \times (546 - 273)}$$

$$= \frac{1}{273} \text{ K}^{-1}$$



إرشاد

* صيغة أخرى لقانون شارل بدلالة الكثافة :

$\because \rho = \frac{m}{V_{ol}}$ ①

$\therefore V_{ol} = \frac{m}{\rho}$ ②

بالتعويض من ① فى ② :

$\frac{(V_{ol})_1}{T_1} = \frac{(V_{ol})_2}{T_2}$

$\frac{m_1}{\rho_1 T_1} = \frac{m_2}{\rho_2 T_2}$

∵ كمية الغاز ثابتة.

$\because m_1 = m_2$

$\therefore \rho_1 T_1 = \rho_2 T_2$

$\therefore \rho T = const$

مثال

كمية معينة من غاز كثافتها $1.3\ kg/m^3$ عند $0°C$، **احسب** كثافة الغاز عند رفع درجة حرارتها بمقدار $50\ K$ عند ثبوت الضغط.

الحل

$\rho_1 = 1.3\ kg/m^3$ | $t_1 = 0°C$ | $\Delta T = 50\ K$ | $\rho_2 = ?$

$T_1 = t_1 + 273 = 0 + 273 = 273\ K$

$T_2 = T_1 + \Delta T = 273 + 50 = 323\ K$

$\rho_1 T_1 = \rho_2 T_2$

$1.3 \times 273 = \rho_2 \times 323$

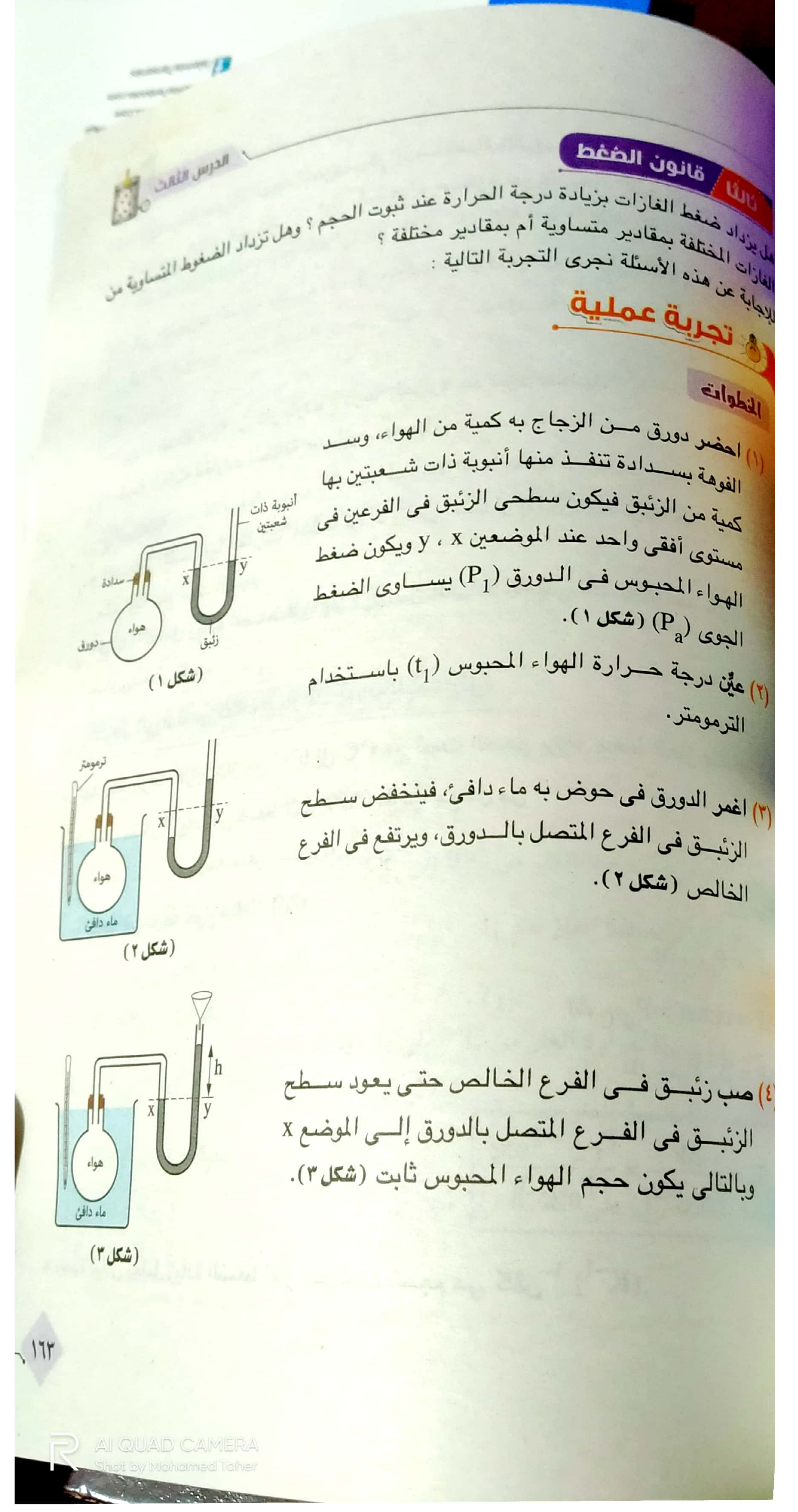
$\rho_2 = 1.1\ kg/m^3$

اختبر نفسك

دورق مفتوح سُخن الهواء داخله من $27°C$ إلى $87°C$، فإن نسبة حجم الهواء الذى خرج من الدورق إلى الحجم الداخلى للدورق بفرض ثبوت كل من الضغط وحجم الدورق هى ....

(أ) $\frac{10}{1}$ (ب) $\frac{1}{5}$ (ج) $\frac{5}{1}$ (د) $\frac{1}{10}$


الفصل
5
الدرس
الثالث
• قانون الضغط
• القانون العام للغازات
في هذا الدرس
سوف تتعرف
1 معامل الزيادة في ضغط غاز
2 تجـربة عملية لتحقيق
3 استنتاج الصيغة الرياضية
4 القانـون العـام



ثالثًا قانون الضغط

هل يزداد ضغط الغازات بزيادة درجة الحرارة عند ثبوت الحجم ؟ وهل تزداد الضغوط المتساوية من الغازات المختلفة بمقادير متساوية أم بمقادير مختلفة ؟

للإجابة عن هذه الأسئلة نجرى التجربة التالية :

تجربة عملية

الخطوات

(١) احضر دورق من الزجاج به كمية من الهواء، وسد الفوهة بسدادة تنفذ منها أنبوبة ذات شعبتين بها كمية من الزئبق فيكون سطحى الزئبق فى الفرعين فى مستوى أفقى واحد عند الموضعين x ، y ويكون ضغط الهواء المحبوس فى الدورق (P_1) يساوى الضغط الجوى (P_a) (شكل ١).

(شكل ١)

(٢) عيّن درجة حرارة الهواء المحبوس (t_1) باستخدام الترمومتر.

(٣) اغمر الدورق فى حوض به ماء دافئ، فينخفض سطح الزئبق فى الفرع المتصل بالدورق، ويرتفع فى الفرع الخالص (شكل ٢).

(شكل ٢)

(٤) صب زئبق فى الفرع الخالص حتى يعود سطح الزئبق فى الفرع المتصل بالدورق إلى الموضع x وبالتالى يكون حجم الهواء المحبوس ثابت (شكل ٣).

(شكل ٣)

(٥) عيِّن درجة حرارة الهواء المحبوس (t_2) باستخدام الترمومتر ثم عيِّن فرق الار...
سطحى الزئبق فى الفرعين (h) باستخدام مسطرة مدرجة وهذا الفرق يمثل الز...
الضغط نتيجة ارتفاع درجة الحرارة من t_1 إلى t_2 ويكون : $P_2 = P_a + h$

(٦) كرر الخطوات السابقة مع ملء الدورق بغازات أخرى ورفع درجة حرارة كل غاز بنف...
فى كل مرة.

الملاحظة

(١) يزداد ضغط كمية من غاز بارتفاع درجة الحرارة عند ثبوت حجمها.

(٢) قيمة h ثابتة للغازات المختلفة عند ثبوت حجمها.

الاستنتاج

* الضغوط المتساوية للغازات المختلفة تزداد بنفس المقدار إذا ارتفعت درجة حرارته...
متساوية عند ثبوت الحجم.

أى أن : معامل زيادة الضغط لأى غاز (β_P) من الضغط الأصلى عند $0°C$ عند ثبو...
يساوى مقدار ثابت.

معامل الزيادة فى ضغط الغاز عند ثبوت الحجم β_P

* **عند رفع درجة حرارة غاز من $0°C$ إلى $t°C$ مع ثبوت الحجم يزداد ضغط الغاز بمقـ...**

* **يتناسب مقدار الزيادة فى ضغط الغاز (ΔP) طرديًا مع كل من :**

– ضغط الغاز عند درجة صفر سيلزيوس ($P_{0°C}$) :

– التغير فى درجة حرارة الغاز (Δt) :

...$0°C$

...t

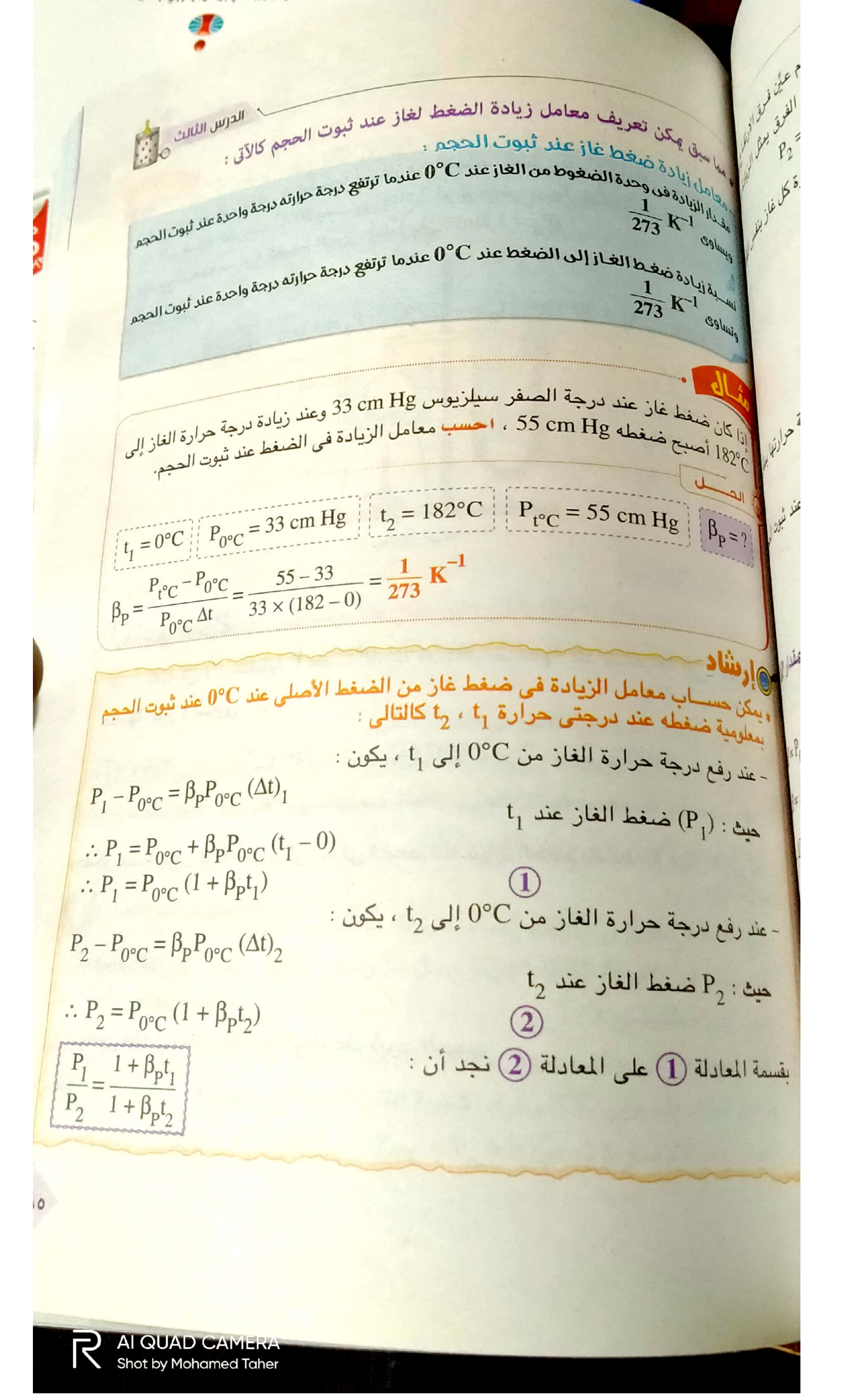
...$P_{0°C}\,\Delta t$

...$\text{const} \times P_{0°C}\,\Delta t$

...$\beta_P\,P_{0°C}\,\Delta t$

$$\ldots = \frac{\Delta P}{P_{0°C}\,\Delta t} = \frac{P_{t°C} - P_{0°C}}{P_{0°C}\,\Delta t}$$

* وحدة قياس معامل زيادة الضغط لغاز عند ثبوت الحجم هى **كلفن$^{-1}$** (K^{-1}).



• مما سبق يمكن تعريف معامل زيادة الضغط لغاز عند ثبوت الحجم كالآتى :

معامل زيادة ضغط غاز عند ثبوت الحجم :

مقدار الزيادة فى وحدة الضغوط من الغاز عند $0°C$ عندما ترتفع درجة حرارته درجة واحدة عند ثبوت الحجم ويساوى $\frac{1}{273}\ K^{-1}$

نسبة زيادة ضغط الغاز إلى الضغط عند $0°C$ عندما ترتفع درجة حرارته درجة واحدة عند ثبوت الحجم وتساوى $\frac{1}{273}\ K^{-1}$

مثال

إذا كان ضغط غاز عند درجة الصفر سيلزيوس 33 cm Hg وعند زيادة درجة حرارة الغاز إلى 182°C أصبح ضغطه 55 cm Hg ، **احسب** معامل الزيادة فى الضغط عند ثبوت الحجم.

الحل

$\beta_P = ?$ | $P_{t°C} = 55\ cm\ Hg$ | $t_2 = 182°C$ | $P_{0°C} = 33\ cm\ Hg$ | $t_1 = 0°C$

$$\beta_P = \frac{P_{t°C} - P_{0°C}}{P_{0°C}\,\Delta t} = \frac{55 - 33}{33 \times (182 - 0)} = \frac{1}{273}\ K^{-1}$$

إرشاد

• يمكن حساب معامل الزيادة فى ضغط غاز من الضغط الأصلى عند $0°C$ عند ثبوت الحجم بمعلومية ضغطه عند درجتى حرارة t_1 ، t_2 كالتالى :

- عند رفع درجة حرارة الغاز من $0°C$ إلى t_1 ، يكون :

$$P_1 - P_{0°C} = \beta_P P_{0°C}\,(\Delta t)_1$$

حيث : (P_1) ضغط الغاز عند t_1

$$\therefore P_1 = P_{0°C} + \beta_P P_{0°C}\,(t_1 - 0)$$

$$\therefore P_1 = P_{0°C}\,(1 + \beta_P t_1) \quad (1)$$

- عند رفع درجة حرارة الغاز من $0°C$ إلى t_2 ، يكون :

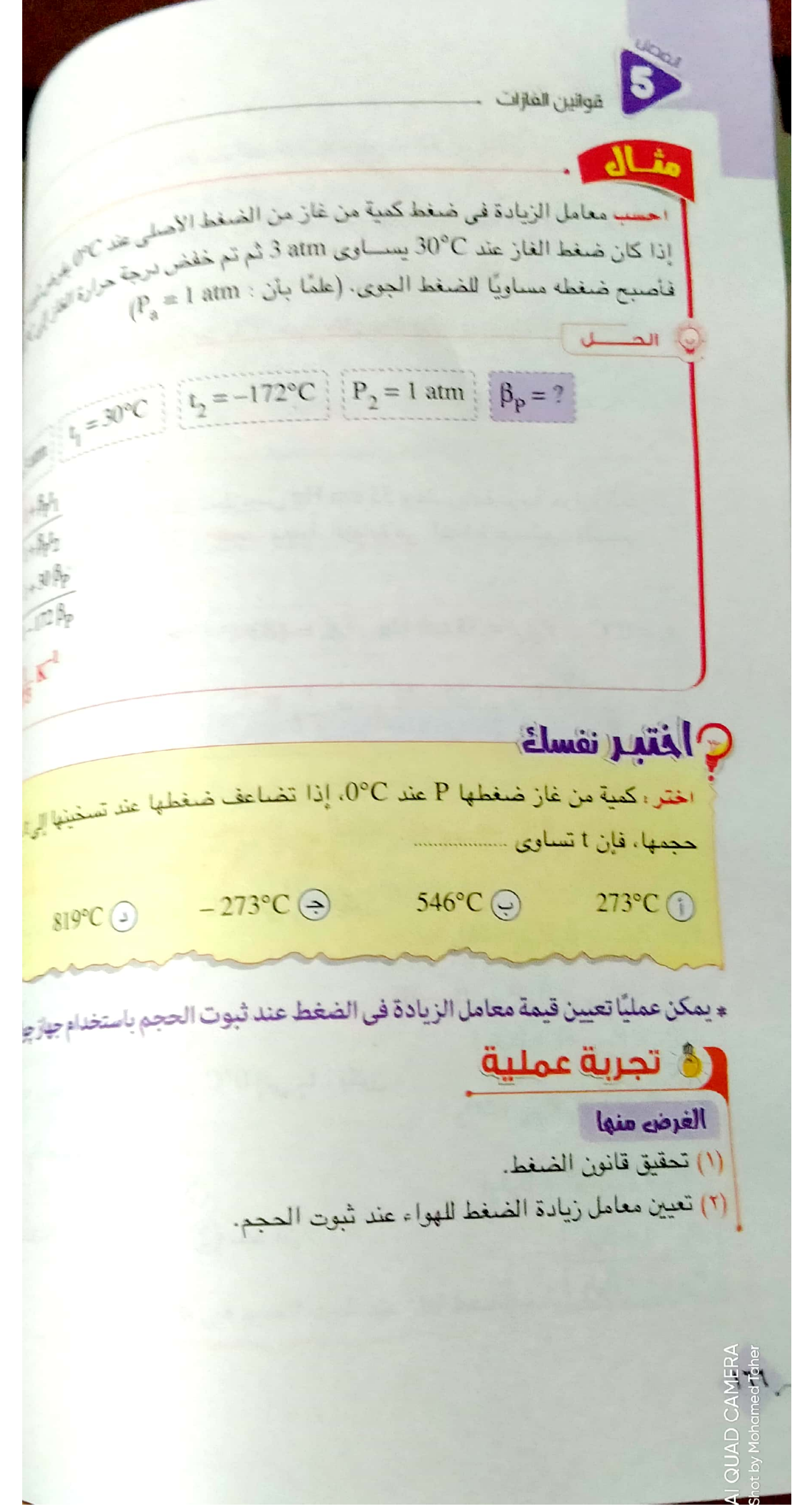
$$P_2 - P_{0°C} = \beta_P P_{0°C}\,(\Delta t)_2$$

حيث : P_2 ضغط الغاز عند t_2

$$\therefore P_2 = P_{0°C}\,(1 + \beta_P t_2) \quad (2)$$

بقسمة المعادلة (1) على المعادلة (2) نجد أن :

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{1 + \beta_P t_1}{1 + \beta_P t_2}$$



مثال

احسب معامل الزيادة فى ضغط كمية من غاز من الضغط الأصلى عند $0°C$ ...
إذا كان ضغط الغاز عند $30°C$ يساوى $3\ atm$ ثم تم خفض درجة حرارة الغاز ...
فأصبح ضغطه مساويًا للضغط الجوى. (علمًا بأن : $P_a = 1\ atm$)

الحل

$\beta_P = ?$ | $P_2 = 1\ atm$ | $t_2 = -172°C$ | $t_1 = 30°C$

اختبر نفسك

اختر : كمية من غاز ضغطها P عند $0°C$، إذا تضاعف ضغطها عند تسخينها إلى ...
حجمها، فإن t تساوى ....

(أ) $273°C$　(ب) $546°C$　(جـ) $-273°C$　(د) $819°C$

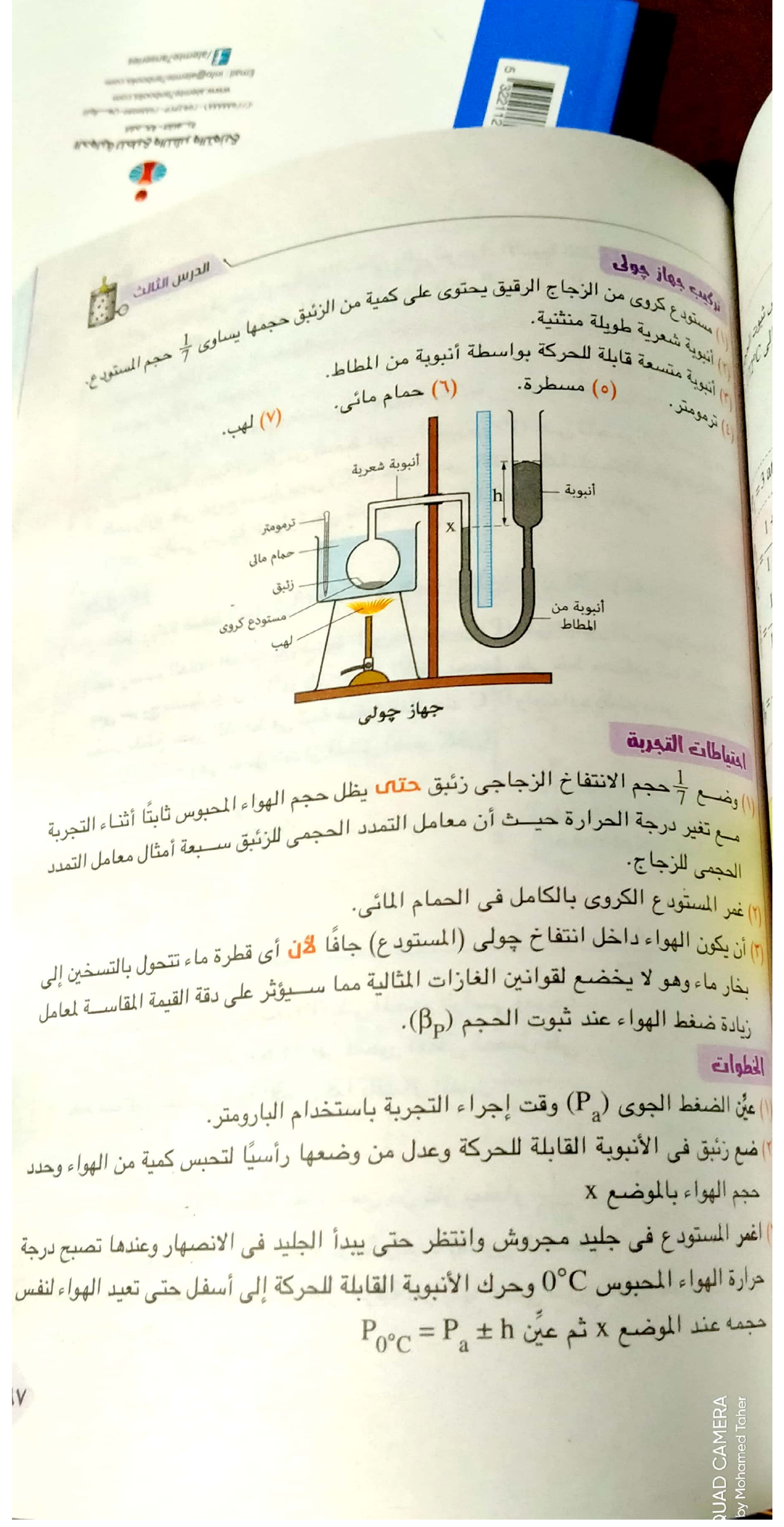
* يمكن عمليًا تعيين قيمة معامل الزيادة فى الضغط عند ثبوت الحجم باستخدام جهاز جـ...

تجربة عملية

الغرض منها

(١) تحقيق قانون الضغط.

(٢) تعيين معامل زيادة الضغط للهواء عند ثبوت الحجم.



تركيب جهاز چولى

(١) مستودع كروى من الزجاج الرقيق يحتوى على كمية من الزئبق حجمها يساوى $\frac{1}{7}$ حجم المستودع.

(٢) أنبوبة شعرية طويلة منثنية.

(٣) أنبوبة متسعة قابلة للحركة بواسطة أنبوبة من المطاط.

(٤) ترمومتر. (٥) مسطرة. (٦) حمام مائى. (٧) لهب.

جهاز چولى

احتياطات التجربة

(١) وضع $\frac{1}{7}$ حجم الانتفاخ الزجاجى زئبق **حتى** يظل حجم الهواء المحبوس ثابتًا أثناء التجربة مع تغير درجة الحرارة حيث أن معامل التمدد الحجمى للزئبق سبعة أمثال معامل التمدد الحجمى للزجاج.

(٢) غمر المستودع الكروى بالكامل فى الحمام المائى.

(٣) أن يكون الهواء داخل انتفاخ چولى (المستودع) جافًا **لأن** أى قطرة ماء تتحول بالتسخين إلى بخار ماء وهو لا يخضع لقوانين الغازات المثالية مما سيؤثر على دقة القيمة المقاسة لمعامل زيادة ضغط الهواء عند ثبوت الحجم (β_P).

الخطوات

(١) عيّن الضغط الجوى (P_a) وقت إجراء التجربة باستخدام البارومتر.

(٢) ضع زئبق فى الأنبوبة القابلة للحركة وعدل من وضعها رأسيًا لتحبس كمية من الهواء وحدد حجم الهواء بالموضع x

(٣) اغمر المستودع فى جليد مجروش وانتظر حتى يبدأ الجليد فى الانصهار وعندها تصبح درجة حرارة الهواء المحبوس $0°C$ وحرك الأنبوبة القابلة للحركة إلى أسفل حتى تعيد الهواء لنفس حجمه عند الموضع x ثم عيّن $P_{0°C} = P_a \pm h$

(٤) اغمر المستودع فى ماء ثم سخّن الماء حتى يغلى ثم حرك الأنبوبة القابلة للحركة إلى أعلى حتى تعيد الهواء لنفس حجمه عند الموضع x ثم عيّن $P_{100°C} = P_a + h$

(٥) احسب معامل زيادة الضغط للهواء عند ثبوت الحجم (β_P) من العلاقة :

$$\beta_P = \frac{P_{100°C} - P_{0°C}}{P_{0°C} \times 100}$$

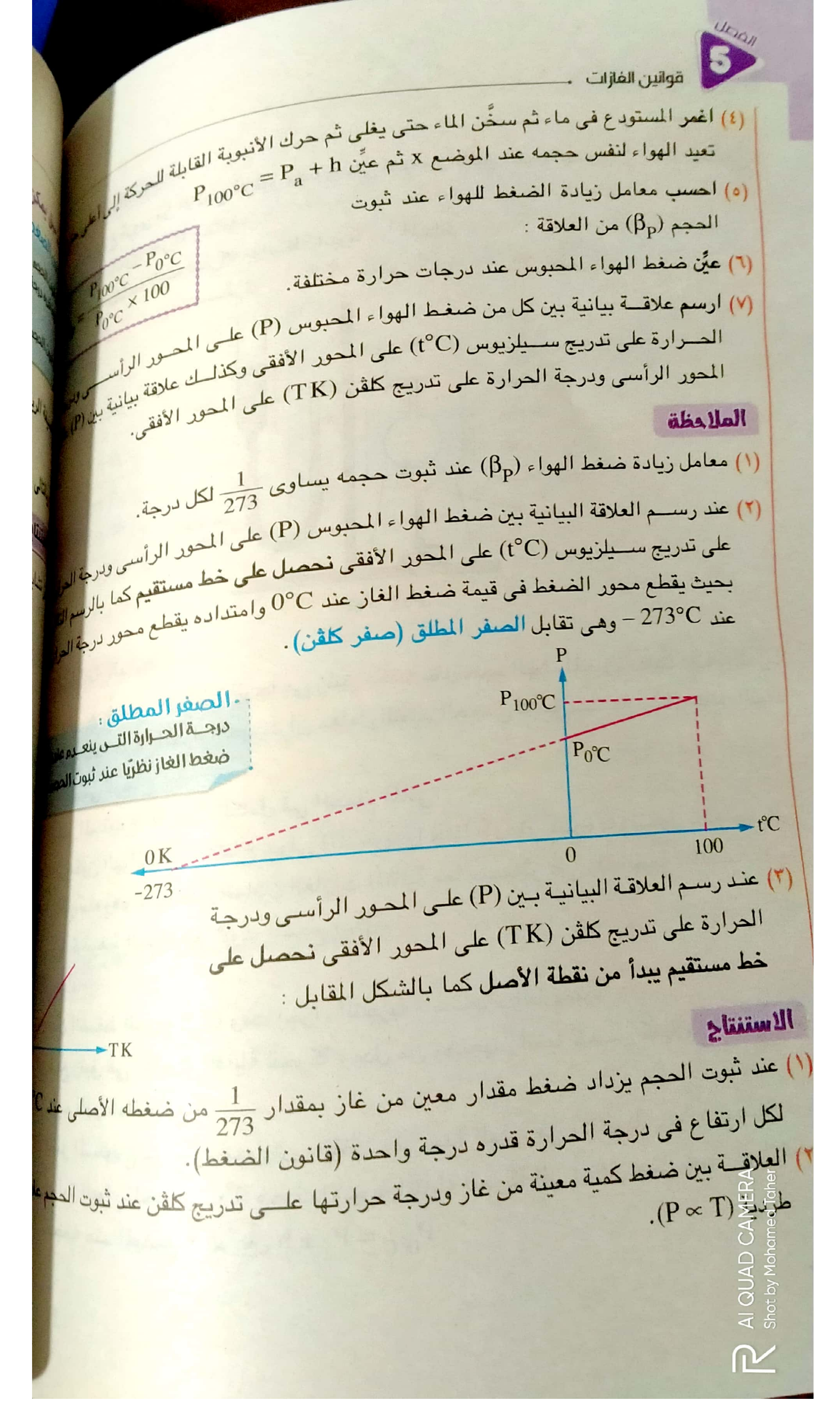
(٦) عيّن ضغط الهواء المحبوس عند درجات حرارة مختلفة.

(٧) ارسم علاقة بيانية بين كل من ضغط الهواء المحبوس (P) على المحور الرأسى ودرجة الحرارة على تدريج سيلزيوس (t°C) على المحور الأفقى وكذلك علاقة بيانية بين (P) على المحور الرأسى ودرجة الحرارة على تدريج كلفن (TK) على المحور الأفقى.

الملاحظة

(١) معامل زيادة ضغط الهواء (β_P) عند ثبوت حجمه يساوى $\frac{1}{273}$ لكل درجة.

(٢) عند رسم العلاقة البيانية بين ضغط الهواء المحبوس (P) على المحور الرأسى ودرجة الحرارة على تدريج سيلزيوس (t°C) على المحور الأفقى **نحصل على خط مستقيم** كما بالرسم التالى بحيث يقطع محور الضغط فى قيمة ضغط الغاز عند 0°C وامتداده يقطع محور درجة الحرارة عند 273°C – وهى تقابل **الصفر المطلق (صفر كلفن)**.



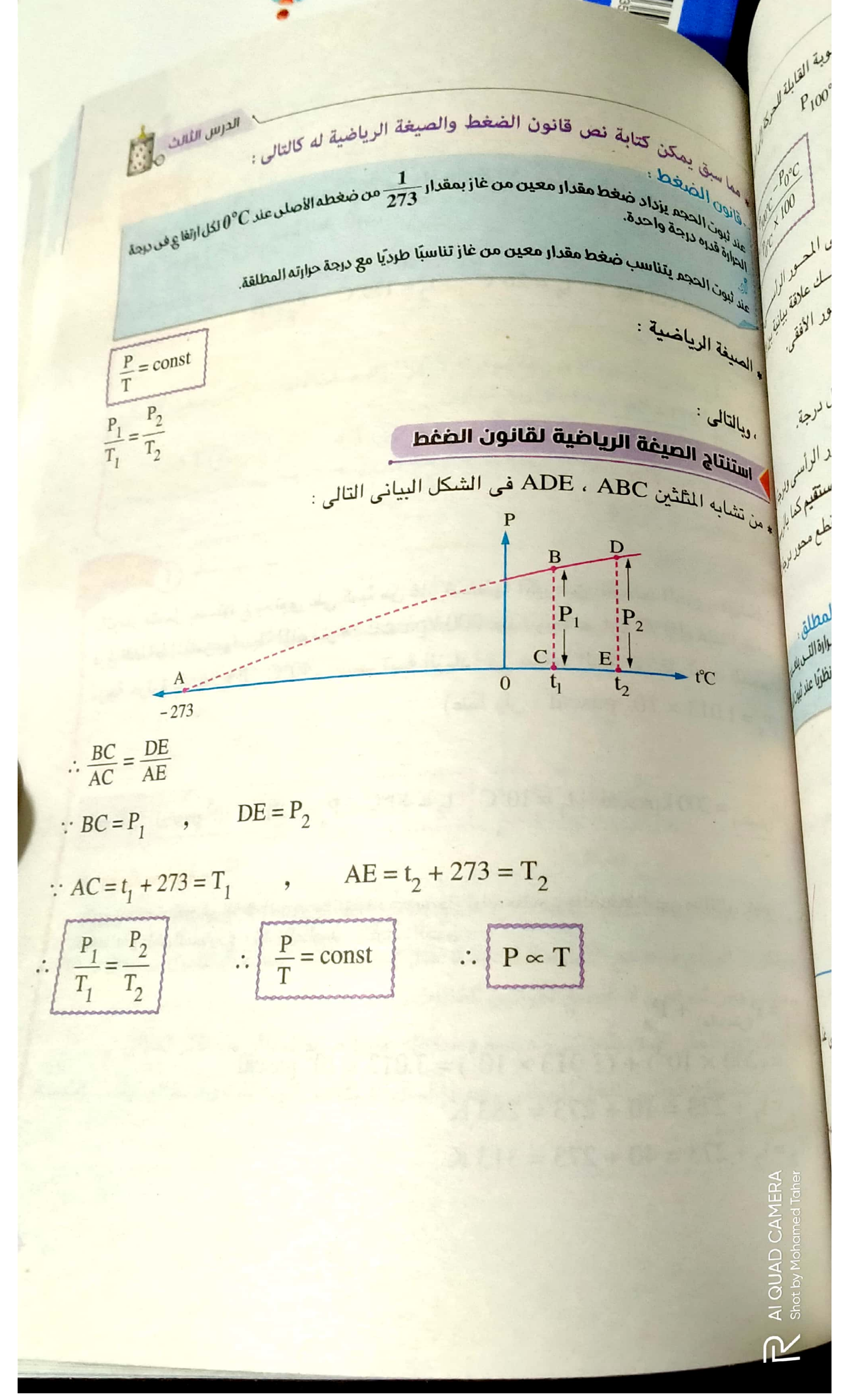
الصفر المطلق : درجة الحرارة التى ينعدم عندها ضغط الغاز نظريًا عند ثبوت الحجم.

(٣) عند رسم العلاقة البيانية بين (P) على المحور الرأسى ودرجة الحرارة على تدريج كلفن (TK) على المحور الأفقى نحصل على **خط مستقيم يبدأ من نقطة الأصل** كما بالشكل المقابل :

الاستنتاج

(١) عند ثبوت الحجم يزداد ضغط مقدار معين من غاز بمقدار $\frac{1}{273}$ من ضغطه الأصلى عند 0°C لكل ارتفاع فى درجة الحرارة قدره درجة واحدة (قانون الضغط).

(٢) العلاقة بين ضغط كمية معينة من غاز ودرجة حرارتها على تدريج كلفن عند ثبوت الحجم علاقة طردية $(P \propto T)$.



* مما سبق يمكن كتابة نص قانون الضغط والصيغة الرياضية له كالتالى :

قانون الضغط :

عند ثبوت الحجم يزداد ضغط مقدار معين من غاز بمقدار $\frac{1}{273}$ من ضغطه الأصلى عند $0°C$ لكل ارتفاع فى درجة الحرارة قدره درجة واحدة.

أو

عند ثبوت الحجم يتناسب ضغط مقدار معين من غاز تناسبًا طرديًا مع درجة حرارته المطلقة.

* الصيغة الرياضية :

$$\frac{P}{T} = const$$

، وبالتالى :

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

استنتاج الصيغة الرياضية لقانون الضغط

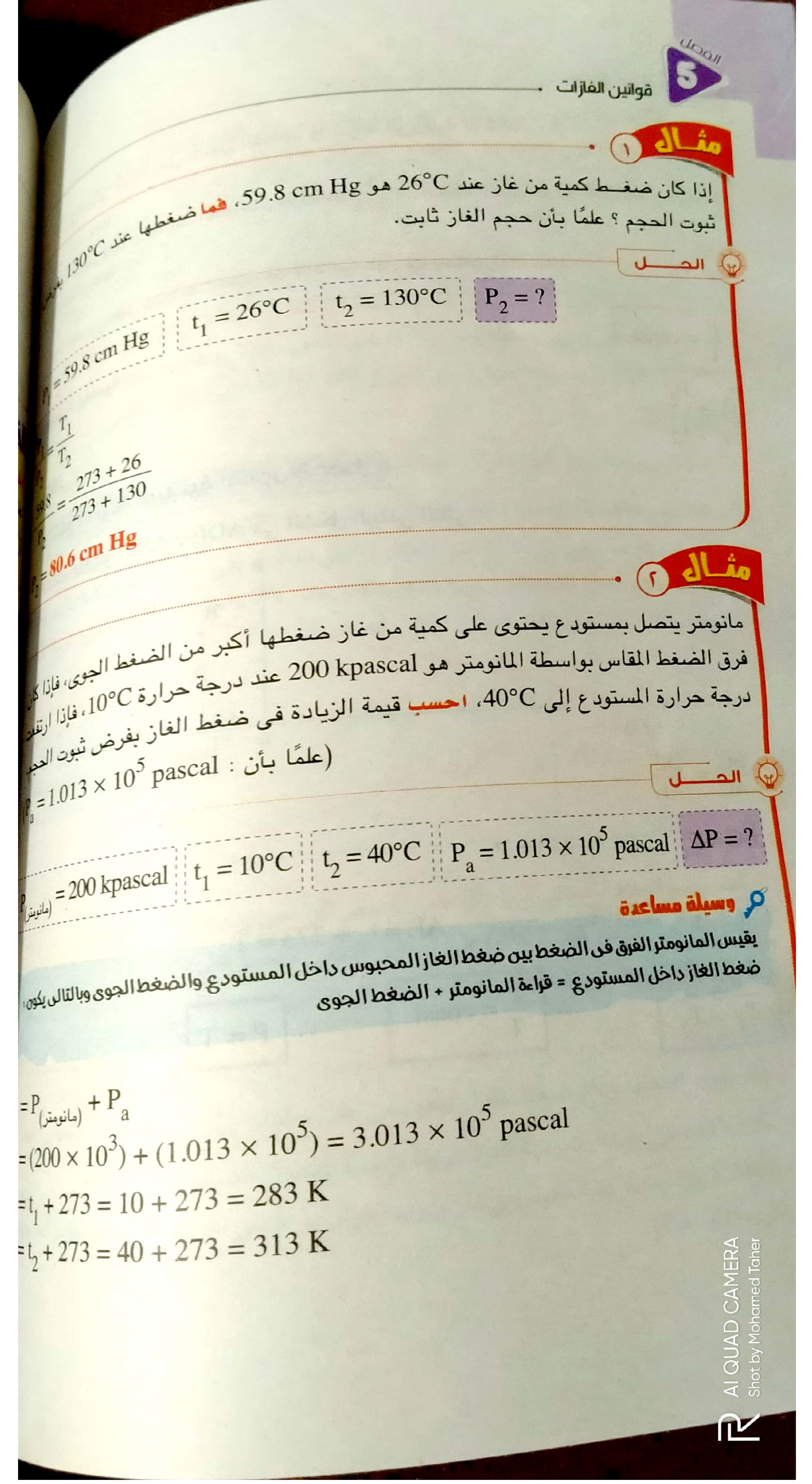
* من تشابه المثلثين ABC ، ADE فى الشكل البيانى التالى :

$$\therefore \frac{BC}{AC} = \frac{DE}{AE}$$

$$\because BC = P_1 \quad , \quad DE = P_2$$

$$\because AC = t_1 + 273 = T_1 \quad , \quad AE = t_2 + 273 = T_2$$

$$\therefore \frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} \qquad \therefore \frac{P}{T} = const \qquad \therefore P \propto T$$



مثال ١

إذا كان ضغط كمية من غاز عند 26°C هو 59.8 cm Hg، **فما** ضغطها عند 130°C بفرض ثبوت الحجم ؟ علمًا بأن حجم الغاز ثابت.

الحل

$P_1 = 59.8\ cm\ Hg$	$t_1 = 26°C$	$t_2 = 130°C$	$P_2 = ?$

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

$$\frac{59.8}{P_2} = \frac{273 + 26}{273 + 130}$$

$$P_2 = 80.6\ cm\ Hg$$

مثال ٢

مانومتر يتصل بمستودع يحتوى على كمية من غاز ضغطها أكبر من الضغط الجوى، فإذا كان فرق الضغط المقاس بواسطة المانومتر هو 200 kpascal عند درجة حرارة 10°C، فإذا ارتفعت درجة حرارة المستودع إلى 40°C، **احسب** قيمة الزيادة فى ضغط الغاز بفرض ثبوت الحجم (علمًا بأن : $P_a = 1.013 \times 10^5$ pascal)

الحل

$P_{(مانومتر)} = 200\ kpascal$	$t_1 = 10°C$	$t_2 = 40°C$	$P_a = 1.013 \times 10^5\ pascal$	$\Delta P = ?$

وسيلة مساعدة

يقيس المانومتر الفرق فى الضغط بين ضغط الغاز المحبوس داخل المستودع والضغط الجوى وبالتالى يكون :

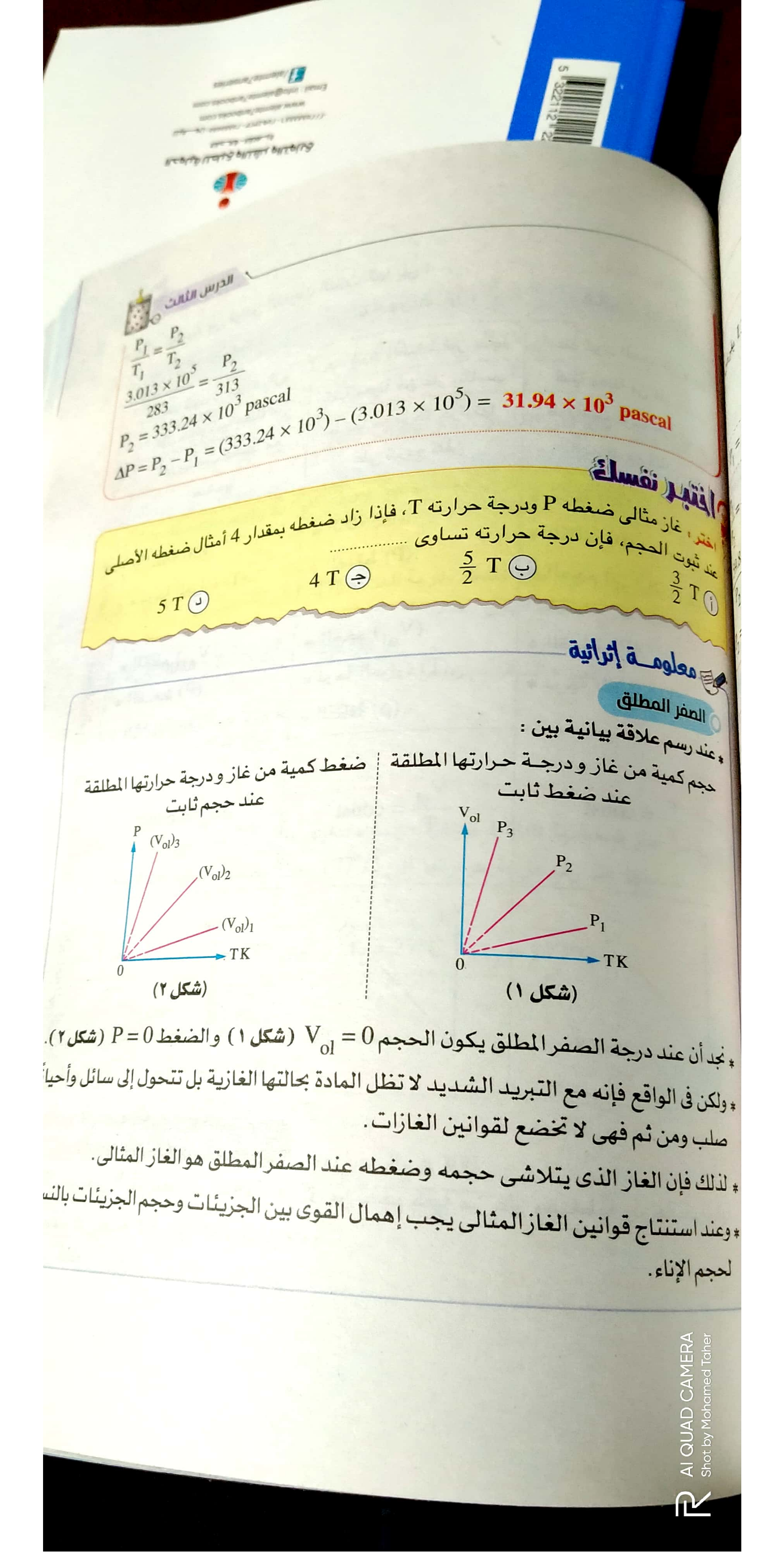
ضغط الغاز داخل المستودع = قراءة المانومتر + الضغط الجوى

$$= P_{(مانومتر)} + P_a$$

$$= (200 \times 10^3) + (1.013 \times 10^5) = 3.013 \times 10^5\ pascal$$

$$= t_1 + 273 = 10 + 273 = 283\ K$$

$$= t_2 + 273 = 40 + 273 = 313\ K$$



$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

$$\frac{3.013 \times 10^5}{283} = \frac{P_2}{313}$$

$$P_2 = 333.24 \times 10^3 \text{ pascal}$$

$$\Delta P = P_2 - P_1 = (333.24 \times 10^3) - (3.013 \times 10^5) = 31.94 \times 10^3 \text{ pascal}$$

اختبر نفسك

اختر : غاز مثالى ضغطه P ودرجة حرارته T، فإذا زاد ضغطه بمقدار 4 أمثال ضغطه الأصلى عند ثبوت الحجم، فإن درجة حرارته تساوى ....

(أ) $\frac{3}{2}$ T   (ب) $\frac{5}{2}$ T   (ج) 4 T   (د) 5 T

معلومة إثرائية

الصفر المطلق

* عند رسم علاقة بيانية بين :

حجم كمية من غاز ودرجة حرارتها المطلقة عند ضغط ثابت	ضغط كمية من غاز ودرجة حرارتها المطلقة عند حجم ثابت

(شكل ١)   (شكل ٢)

* نجد أن عند درجة الصفر المطلق يكون الحجم $V_{ol} = 0$ **(شكل ١)** والضغط $P = 0$ **(شكل ٢)**.
* ولكن فى الواقع فإنه مع التبريد الشديد لا تظل المادة بحالتها الغازية بل تتحول إلى سائل وأحيا
صلب ومن ثم فهى لا تخضع لقوانين الغازات.
* لذلك فإن الغاز الذى يتلاشى حجمه وضغطه عند الصفر المطلق هو الغاز المثالى.
* وعند استنتاج قوانين الغاز المثالى يجب إهمال القوى بين الجزيئات وحجم الجزيئات بالنس
لحجم الإناء.

* يمكن المقارنة بين قوانين الغازات الثلاث كما يلي :

	قانون بويل	قانون شارل	قانون الضغط
نص القانون	عند ثبوت درجة الحرارة فإن حجم كمية معينة من غاز يتناسب عكسيًا مع ضغطها	عند ثبوت الضغط فإن حجم كمية معينة من غاز يتناسب طرديًا مع درجة حرارتها على تدريج كلفن	عند ثبوت الحجم فإن ضغط كمية معينة من غاز يتناسب طرديًا مع درجة حرارتها على تدريج كلفن
ثوابت الغاز	* الكتلة (m). * درجة الحرارة (T).	* الكتلة (m). * الضغط (P).	* الكتلة (m). * الكثافة (ρ). * الحجم (V_{ol}).
متغيرات الغاز	* الحجم (V_{ol}). * الضغط (P). * الكثافة (ρ).	* الحجم (V_{ol}). * درجة الحرارة (T). * الكثافة (ρ).	* الضغط (P). * درجة الحرارة (T).
الصيغة الرياضية	$PV_{ol} = const$	$\frac{V_{ol}}{T} = const$	$\frac{P}{T} = const$
العلاقة البيانية	V_{ol} – P	V_{ol} – TK	P – TK

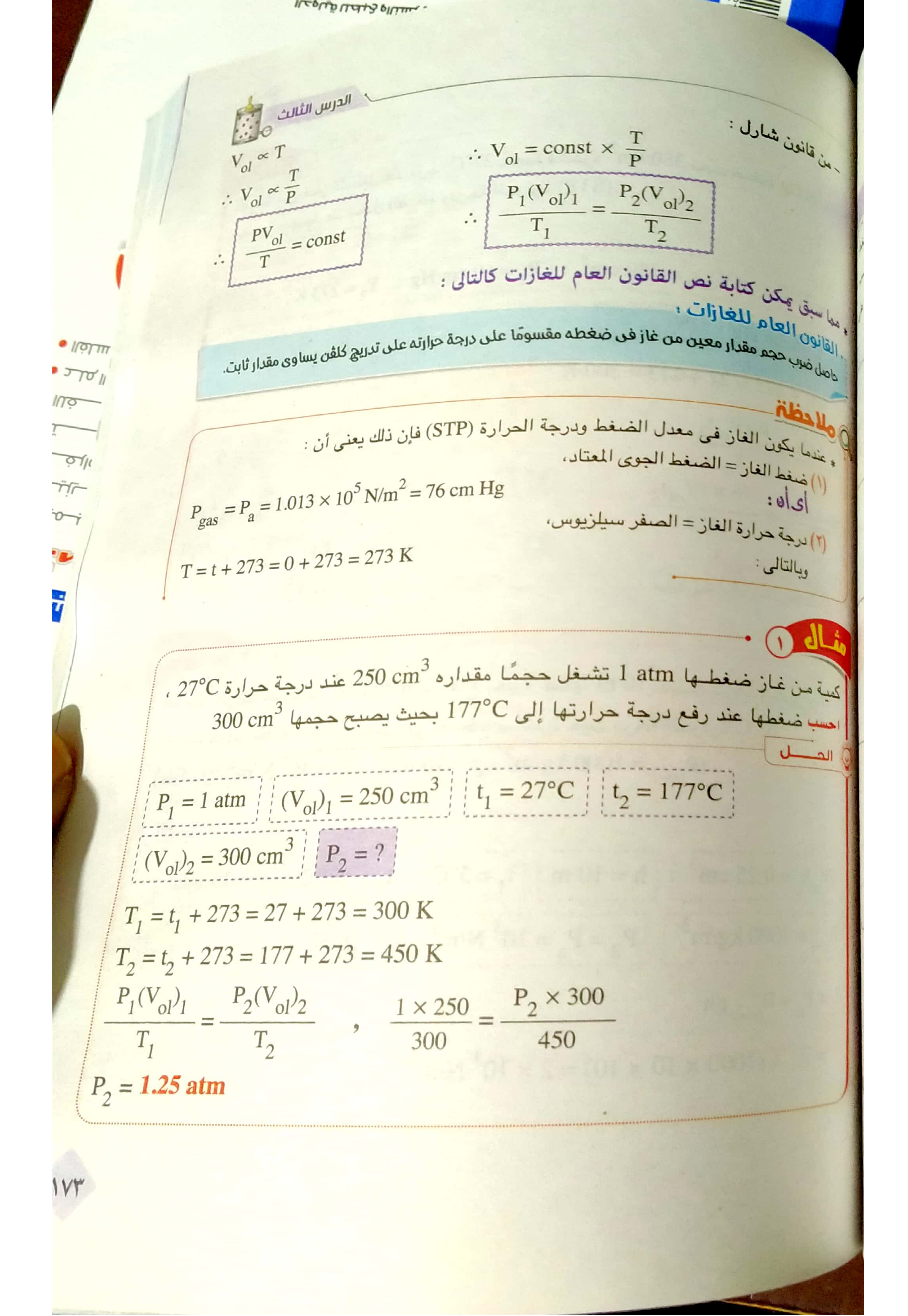
رابعًا القانون العام للغازات

* يمثل القانون العام للغازات العلاقة بين كل من حجم كمية من غاز وضغطها ودرجة حرارتها

* **الصيغة الرياضية للقانون العام للغازات :**

– من قانون بويل :

$\propto \frac{1}{P}$



- من قانون شارل :

$V_{ol} \propto T$

$\therefore V_{ol} \propto \frac{T}{P}$ $\therefore V_{ol} = const \times \frac{T}{P}$

$\therefore \frac{PV_{ol}}{T} = const$ $\therefore \frac{P_1(V_{ol})_1}{T_1} = \frac{P_2(V_{ol})_2}{T_2}$

- مما سبق يمكن كتابة نص القانون العام للغازات كالتالى :

- **القانون العام للغازات :**

حاصل ضرب حجم مقدار معين من غاز فى ضغطه مقسومًا على درجة حرارته على تدريج كلفن يساوى مقدار ثابت.

ملاحظة

- عندما يكون الغاز فى معدل الضغط ودرجة الحرارة (STP) فإن ذلك يعنى أن :

(١) ضغط الغاز = الضغط الجوى المعتاد،

أى أن :

$P_{gas} = P_a = 1.013 \times 10^5\ N/m^2 = 76\ cm\ Hg$

(٢) درجة حرارة الغاز = الصفر سيلزيوس،

وبالتالى :

$T = t + 273 = 0 + 273 = 273\ K$

مثال ١

كمية من غاز ضغطها 1 atm تشغل حجمًا مقداره $250\ cm^3$ عند درجة حرارة 27°C ، احسب ضغطها عند رفع درجة حرارتها إلى 177°C بحيث يصبح حجمها $300\ cm^3$

الحل

$P_1 = 1\ atm$ | $(V_{ol})_1 = 250\ cm^3$ | $t_1 = 27°C$ | $t_2 = 177°C$

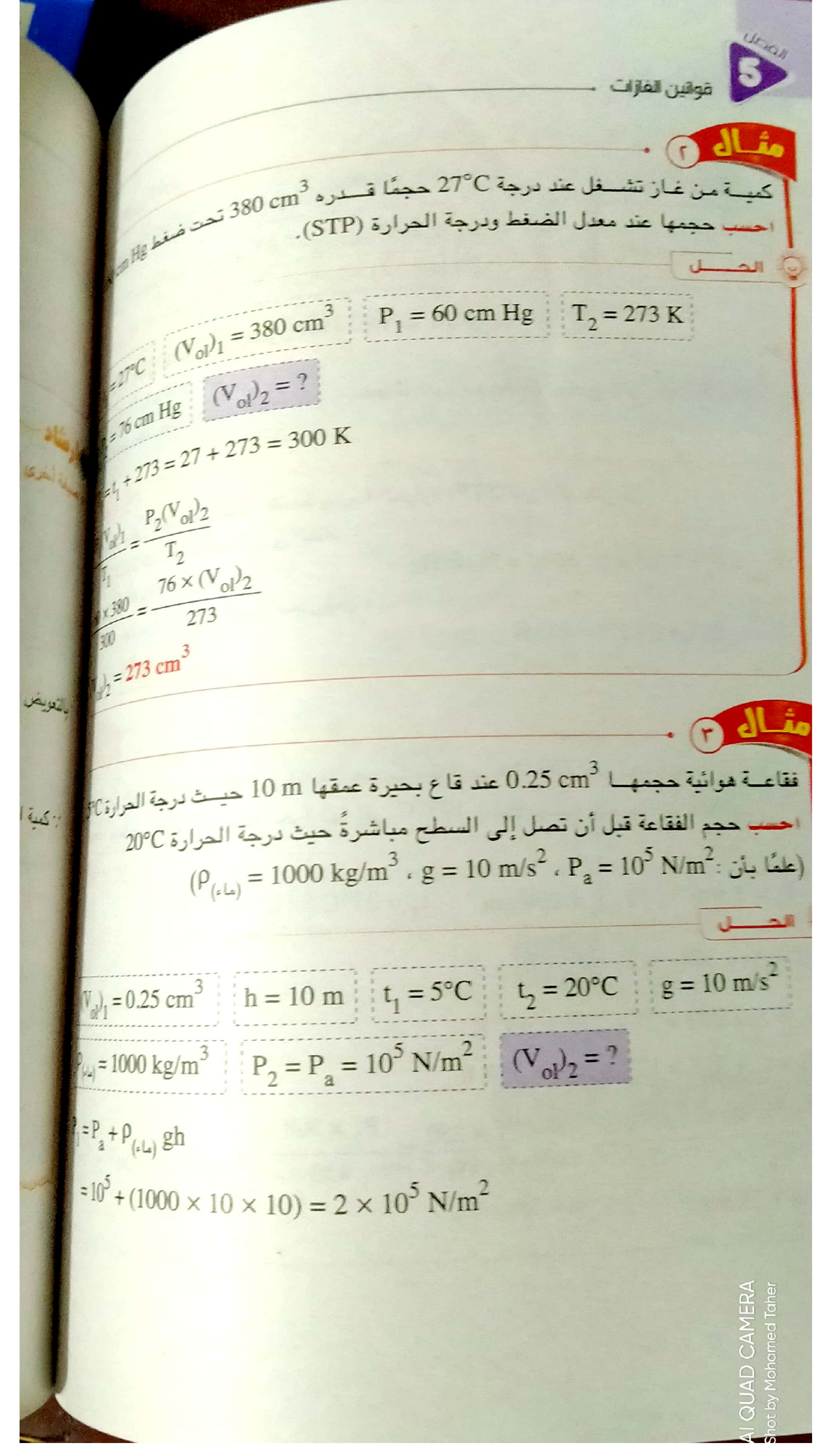
$(V_{ol})_2 = 300\ cm^3$ | $P_2 = ?$

$T_1 = t_1 + 273 = 27 + 273 = 300\ K$

$T_2 = t_2 + 273 = 177 + 273 = 450\ K$

$\frac{P_1(V_{ol})_1}{T_1} = \frac{P_2(V_{ol})_2}{T_2}$, $\frac{1 \times 250}{300} = \frac{P_2 \times 300}{450}$

$P_2 = 1.25\ atm$



مثال ٢

كميــة من غــاز تشــغل عند درجة $27°C$ حجمًا قــدره $380\ cm^3$ تحت ضغط $60\ cm\ Hg$
احسب حجمها عند معدل الضغط ودرجة الحرارة (STP).

الحـل

$T_2 = 273\ K$	$P_1 = 60\ cm\ Hg$	$(V_{ol})_1 = 380\ cm^3$
$t_1 = 27°C$	$(V_{ol})_2 = ?$	$P_2 = 76\ cm\ Hg$

$$T_1 = t_1 + 273 = 27 + 273 = 300\ K$$

$$\frac{P_1 (V_{ol})_1}{T_1} = \frac{P_2 (V_{ol})_2}{T_2}$$

$$\frac{60 \times 380}{300} = \frac{76 \times (V_{ol})_2}{273}$$

$$(V_{ol})_2 = 273\ cm^3$$

مثال ٣

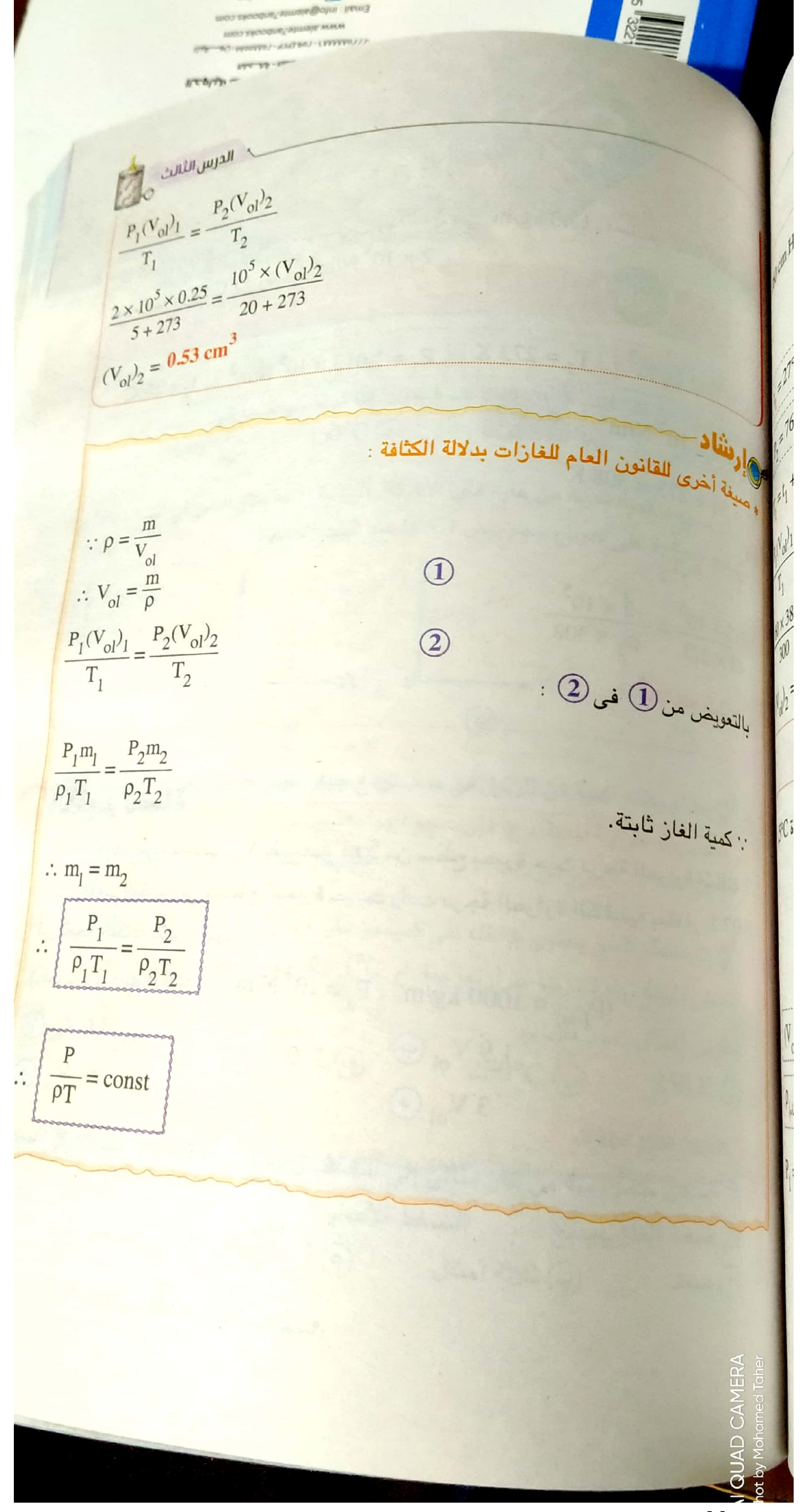
فقاعــة هوائية حجمهــا $0.25\ cm^3$ عند قاع بحيرة عمقها $10\ m$ حيــث درجة الحرارة $5°C$
احسب حجم الفقاعة قبل أن تصل إلى السطح مباشرةً حيث درجة الحرارة $20°C$
(علمًا بأن: $P_a = 10^5\ N/m^2$ ، $g = 10\ m/s^2$ ، $\rho_{(ماء)} = 1000\ kg/m^3$)

الحـل

$g = 10\ m/s^2$	$t_2 = 20°C$	$t_1 = 5°C$	$h = 10\ m$	$(V_{ol})_1 = 0.25\ cm^3$
$(V_{ol})_2 = ?$	$P_2 = P_a = 10^5\ N/m^2$	$\rho_{(ماء)} = 1000\ kg/m^3$		

$$P_1 = P_a + \rho_{(ماء)}\, gh$$

$$= 10^5 + (1000 \times 10 \times 10) = 2 \times 10^5\ N/m^2$$



$$\frac{P_1(V_{ol})_1}{T_1} = \frac{P_2(V_{ol})_2}{T_2}$$

$$\frac{2 \times 10^5 \times 0.25}{5+273} = \frac{10^5 \times (V_{ol})_2}{20+273}$$

$$(V_{ol})_2 = 0.53\ cm^3$$

إرشاد

• صيغة أخرى للقانون العام للغازات بدلالة الكثافة :

$$\because \rho = \frac{m}{V_{ol}}$$

$$\therefore V_{ol} = \frac{m}{\rho} \quad (1)$$

$$\frac{P_1(V_{ol})_1}{T_1} = \frac{P_2(V_{ol})_2}{T_2} \quad (2)$$

بالتعويض من (1) فى (2) :

$$\frac{P_1 m_1}{\rho_1 T_1} = \frac{P_2 m_2}{\rho_2 T_2}$$

∵ كمية الغاز ثابتة.

$$\therefore m_1 = m_2$$

$$\therefore \boxed{\frac{P_1}{\rho_1 T_1} = \frac{P_2}{\rho_2 T_2}}$$

$$\therefore \boxed{\frac{P}{\rho T} = const}$$